



João Filipe Lourenço Grazina

Licenciado em Engenharia Civil

Realidade Aumentada aplicada a BIM para a monitorização do progresso e controle de produção na Construção

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Doutor, FCT-UNL

Júri

Presidente: Prof. Doutor João Rocha de Almeida, FCT/UNL

Vogais:

Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues, FCT/UNL

Prof. Doutor António Aguiar Costa, IST/UTL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2013



João Filipe Lourenço Grazina

Licenciado em Engenharia Civil

Realidade Aumentada aplicada a BIM para a monitorização do progresso e controle de produção na Construção

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Doutor, FCT-UNL

Júri

Presidente: Prof. Doutor João Rocha de Almeida, FCT/UNL

Vogais:

Prof. Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues, FCT/UNL

Prof. Doutor António Aguiar Costa, IST/UTL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2013

‘Copyright’ João Filipe Lourenço Grazina, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Doutor Nuno Cachadinha pela excelência no acompanhamento e nos métodos de trabalho, que em tudo beneficiaram esta dissertação.

Gostaria também de agradecer:

Aos colegas da equipa de investigação Pedro Berto, Pedro Pereira, João Parreira, João Belas, Rui Martins e Pedro Andrade pela sua partilha de conhecimento, apoio e companheirismo;

Aos meus pais por me proporcionarem a hipótese de adquirir formação de alto nível, e pela paciência na conclusão da mesma;

Aos familiares e amigos pela força e motivação;

À Mota-Engil, Engenharia e Construção, S.A pela disponibilidade mostrada para a finalização da dissertação durante o estágio;

Aos amigos do rossio;

Ao Pedro Rodrigues pela profunda amizade e companheirismo;

E à Ana Soares, pilar fundamental, mostrando sempre apoio incondicional.

RESUMO

Actualmente o sector da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC) carece de sistemas de recolha e monitorização do progresso de obra. Os métodos tradicionais há muito que se sabe que não são suficientes para suprir as necessidades cada vez mais rigorosas do sector. Com o aparecimento do *Building Information Modelling* (BIM), a monitorização ganhou uma nova escala de rigor, sendo possível ter uma base sólida com informação exacta do projecto.

Como tecnologia emergente nos dias de hoje, a Realidade Aumentada (RA) pode levar até à obra, a visualização dos modelos 3D BIM, acompanhada de informação pertinente para tomada de decisões ou para simples monitorização.

Esta dissertação propõe uma plataforma conceptual que alia a modelação 3D BIM, o planeamento e o mapa de quantidades para criar uma base de dados de comparação com a informação recolhida da obra com recurso à utilização de RA. Utilizando uma metodologia *Structured Systems Analysis and Design Methodology* (SSADM), foi possível identificar as necessidades específicas do sector AEC, como o *making do*, e propor uma plataforma que aglutina numa metodologia, conceitos de diferentes métodos de medição e acompanhamento de obra, como o *Critical Method Path* (CPM) e o *Last Planner System* (LPS).

A plataforma conceptual propõe melhorias significativas na recolha de informação em obra, *as-built*, com recurso à RA, bem como na comparação do *as-built* com a informação de projecto, *as-planned*. Permite também, através dessa comparação e das ligações estabelecidas entre o modelo 3D BIM, o planeamento e o mapa de quantidades, fazer um acompanhamento rigoroso e fiável do progresso da obra.

A metodologia proposta para esta plataforma abre portas a novos métodos de monitorização de obra mais precisos. Com o aumento da precisão dos sistemas de posicionamento global (GPS), será possível expandir a sua utilização a trabalhos de requeiram elevado grau de exactidão, como levantamentos topográficos ou escavações.

Termos chave: *Building Information Modelling, Realidade Aumentada, Planeamento, Medição de Progresso, LPS, CPM, Controle de produção*

ABSTRACT

Currently the Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector lacks systems for collecting and monitoring the progress of the work. It has long been known that traditional methods are not sufficient to meet the increasingly stringent requirements of the sector. With the introduction of Building Information Modeling (BIM), monitoring works has gained a new level of accuracy, providing the stakeholders with a solid database with accurate information of the project.

Currently an emerging technology, Augmented Reality (AR) can be brought to scene as an on-site visualization tool for 3D BIM models, as well as other relevant information for decision making or simple monitoring.

This master thesis proposes a conceptual platform that combines 3D BIM modeling, schedule and the Bill of Quantities to create a database for comparison with on-site data, collected with the use of AR. Using a Structured Systems Analysis and Design Methodology (SSADM), it was possible to identify specific needs and flaws of AEC in this specific area, such as the Making Do, and propose a platform that brings together concepts of different methods for measuring and monitoring works, such as the Critical Method path (CPM) and the Last Planner System (LPS), integrating them into a new methodology.

The conceptual platform offers significant improvements in data collection on-site, such as determining as-built status using AR, as well as in the comparison with the project information, as-planned. Based on this comparison and on the connections established between the 3D BIM model, schedule and Bill of Quantities, it also allows for automated of schedule updates and a rigorous and reliable monitoring of the work progress.

The proposed methods and the platform itself open perspectives for new ways of monitoring work progress more accurately. Due to the ever increasing accuracy of global positioning systems (GPS), the platform can expand its use to activities which need a high degree of accuracy, such as topography works and excavations.

Keywords: *Building Information Modelling, Augmented Reality, Planning, Progress measurement, LPS, CPM, Production Monitoring*

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

RA – Realidade Aumentada

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

BIM – Building Information Model/Modelling

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

HMD – Head Mounted Display

SSADM – Structured Systems Analysis and Design Methodology

DFD – Data-Flow Diagram

DMS – Document Management System

CPM – Critical Path Method

PERT – Program Evaluation Review Technique

LPS – Last Planner System

WBS – Work Breakdown Structure

GPS – Global Positioning System

PIB – Produto Interno Bruto

CCP – Código de Contratos Públicos

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	MOTIVAÇÃO	2
1.2.	PROBLEMÁTICA.....	4
1.3.	HIPÓTESES DE ESTUDO	6
1.4.	OBJECTIVOS PARCELARES.....	6
1.5.	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2.	ESTADO DO CONHECIMENTO	9
2.1.	BIM.....	9
2.1.1.	<i>Estado actual do BIM no sector AEC</i>	9
2.1.2.	<i>Benefícios do BIM</i>	11
2.1.3.	<i>O Futuro do BIM no sector AEC</i>	12
2.2.	REALIDADE AUMENTADA	15
2.2.1.	<i>Realidade Aumentada no sector AEC</i>	18
2.2.2.	<i>Benefícios da Realidade Aumentada</i>	22
2.3.	REALIDADE AUMENTADA ALIADA AO BIM.....	24
2.4.	PLANEAMENTO.....	26
2.4.1.	<i>Método do Caminho Crítico</i>	26
2.4.2.	<i>PERT</i>	29
2.4.3.	<i>Lean e Last Planner System</i>	31
2.4.4.	<i>Planeamento 4D</i>	33
2.4.5.	<i>Actualização do Planeamento</i>	34
3.	METODOLOGIA	39
3.1.	FERRAMENTA DE INVESTIGAÇÃO.....	39
3.2.	METODOLOGIA DO ESTUDO	39
4.	PROPOSTA DE MODELO	43
4.1.	PLATAFORMA	43
4.2.	MODELAÇÃO BIM, MAPA DE QUANTIDADES E PLANO DE ACTIVIDADES..	44
4.3.	BASE DE DADOS “AS-PLANNED”	47
4.4.	RECOLHA DO <i>AS-BUILT</i> E BASE DE DADOS “AS-BUILT”	48
4.5.	COMPARAÇÃO <i>AS-PLANNED</i> COM <i>AS-BUILT</i>	52
4.6.	ACTUALIZAÇÃO DA BASE DE DADOS “AS-PLANNED”	54
4.7.	BASE DE DADOS “RELATÓRIOS” E RELATÓRIOS DE ANÁLISE	57

5.	ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	61
5.1.	PLATAFORMA E BASE DE DADOS.....	61
5.2.	RECOLHA DA INFORMAÇÃO <i>AS-BUILT</i>	62
5.3.	PROCESSO DE COMPARAÇÃO DO <i>AS-PLANNED</i> COM O <i>AS-BUILT</i> E ACTUALIZAÇÃO DA BASE DE DADOS “ <i>AS-PLANNED</i> ”.....	66
5.4.	BASE DE DADOS “RELATÓRIOS”	68
5.5.	SITUAÇÕES APLICÁVEIS	69
5.6.	LIMITAÇÕES.....	70
5.7.	PERT/CPM, <i>MAKING DO</i> E LPS	71
6.	CONCLUSÕES.....	75
6.1.	CONCLUSÕES	75
6.2.	OBJECTIVOS, HIPÓTESES DE ESTUDO E QUESTÃO DE INVESTIGAÇÃO	77
6.3.	PERSPECTIVAS FUTURAS	78
7.	BIBLIOGRAFIA.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – DISTRIBUIÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO BIM POR PROFISSÃO	10
FIGURA 2.2 - DISTRIBUIÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO BIM POR ESPECIALIDADE.....	10
FIGURA 2.3 – DIAGRAMA DA REALIDADE-VIRTUALIDADE CONTINUUM	15
FIGURA 2.4 – EXEMPLO DE RA UTILIZANDO MARCADORES 2D.....	15
FIGURA 2.5 – EXEMPLO DE UM <i>HEAD MOUNTED DISPLAY</i>	16
FIGURA 2.6 – APLICAÇÕES POSSÍVEIS PARA OS <i>GOOGLE GLASS</i>	16
FIGURA 2.7 – EXEMPLO DO SISTEMA CAVE	17
FIGURA 2.8 – <i>GEN-1 AR BOOK</i> - INFORMAÇÃO RELEVANTE SOBRE O EQUIPAMENTO E OS MARCADORES 2D DE RA	18
FIGURA 2.9 – VISUALIZAÇÃO DO <i>GEN-1 AR BOOK</i> ATRAVÉS DO <i>HMD</i>	19
FIGURA 2.10 – VISUALIZAÇÃO DO MODELO NO MUNDO REAL ATRAVÉS DA RA EM <i>LIVE STREAM</i> . 19	
FIGURA 2.11 – FIXAÇÃO DO MODELO NO <i>GOOGLE EARTH</i>	19
FIGURA 2.12 – SOBREPOSIÇÃO DOS ELEMENTOS A CONSTRUIR UTILIZANDO RA.....	20
FIGURA 2.13 – IMPOSIÇÃO DO MODELO IFC SOBRE UMA FOTOGRAFIA DA OBRA.....	20
FIGURA 2.14 – COMPARAÇÃO AUTOMÁTICA ENTRE <i>AS-BUILT</i> E <i>AS-PLANNED</i>	21
FIGURA 2.15 – NÚMERO DE ARTIGOS PUBLICADOS SOBRE RA NAS REVISTAS AIC, ITCON E JCEM	22
FIGURA 2.16 – CURVA DE APRENDIZAGEM NA MONTAGEM DO LEGO	23
FIGURA 2.17 – DIAGRAMA DE ACTIVIDADES NO NÓ	28
FIGURA 2.18 – DIAGRAMA DE GANTT COM AS RESPECTIVAS LIGAÇÕES ENTRE ACTIVIDADES	28
FIGURA 2.19 – DISTRIBUIÇÃO BETA DO PERT, ADAPTADO DE	30
FIGURA 2.20 – REDE PERT	31
FIGURA 2.21 - DIFERENÇAS DE PRODUTIVIDADE APÓS IMPLEMENTAÇÃO DO LPS.....	32
FIGURA 2.22 – PROCESSO DE CRIAÇÃO DE UM PLANEAMENTO 4D ADAPTADO DE	33
FIGURA 2.23 – LIGAÇÃO DOS ELEMENTOS 3D DO PROJECTO BIM ÀS ACTIVIDADES CORRESPONDENTES	34
FIGURA 2.24 – RESULTADOS SOBRE A PERIODICIDADE ADOPTADA PELAS EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	36
FIGURA 4.1 – ARQUITECTURA DA PLATAFORMA	43
FIGURA 4.2 – EXEMPLO DE UM MODELO 3D BIM	44
FIGURA 4.3 – ESQUEMATIZAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DO MAPA DE QUANTIDADES COM O MODELO 3D BIM.....	45
FIGURA 4.4 – ESQUEMATIZAÇÃO DA LIGAÇÃO DAS ACTIVIDADES AOS ELEMENTOS DO MODELO 3D BIM	46

FIGURA 4.5 – ARQUITECTURA DA BASE DE DADOS “AS-PLANNED”	47
FIGURA 4.6 – NOVE PARÂMETROS DE QUALQUER ELEMENTO PRESENTE NO PROJECTO	47
FIGURA 4.7 - SOBREPOSIÇÃO DO MODELO 3D E INTERACÇÃO COM O DISPOSITIVO POR FORMA A DEFINIR O <i>AS-BUILT</i>	48
FIGURA 4.8 – PROCESSO ESQUEMÁTICO DA ORGANIZAÇÃO DA INFORMAÇÃO <i>AS-BUILT</i>	49
FIGURA 4.9 – DISCREPÂNCIAS DA LINHA DE METRO DEVIDO À PROFUNDIDADE	49
FIGURA 4.10 – PARÂMETROS PARA O CÁLCULO DO PROGRESSO	51
FIGURA 4.11 – RECOLHA DO <i>AS-BUILT</i> DE ACORDO COM A TERCEIRA HIPÓTESE	51
FIGURA 4.12 – PROCESSO DE COMPARAÇÃO ENTRE A INFORMAÇÃO <i>AS-BUILT</i> E <i>AS-PLANNED</i>	52
FIGURA 4.13 – <i>TAG</i> ASSOCIADA A UM ELEMENTO ATRASADO	53
FIGURA 4.14 – PROCESSO DE ACTUALIZAÇÃO DA BASE DE DADOS “AS-PLANNED”	55
FIGURA 4.15 – PLANEAMENTO NO DIA 7 DE JULHO	56
FIGURA 4.16 – PLANEAMENTO NO DIA 11 DE JULHO	56
FIGURA 4.17 – ARQUITECTURA DA BASE DE DADOS “RELATÓRIOS”	57
FIGURA 5.1 – CONEXÃO <i>WIRELESS</i> ENTRE O APARELHO PORTÁTIL E O SERVIDOR	62
FIGURA 5.2 – POSICIONAMENTO PARA MEDIÇÃO.....	63
FIGURA 5.3 – ESQUEMA DO SISTEMA IGPS.....	64
FIGURA 5.4 – MÉDIA DAS ACTIVIDADES COM DIFERENTES VALORES DE PROGRESSO PARA OS ELEMENTOS	66

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2.1 - BENEFÍCIOS DA UTILIZAÇÃO DE BIM EM PROJECTOS (BRYDE <i>ET AL.</i> , 2013)	11
QUADRO 2.2 - PREFERÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DO BIM (KHEMLANI, 2007).....	14
QUADRO 2.3 - RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO <i>SMVS</i> (PARK E KIM, 2012).....	25
QUADRO 2.4 – PERIODICIDADE DE RECOLHA DE INFORMAÇÃO PROPOSTA POR (SANTANA, 1988)	36
QUADRO 4.1 RELATÓRIOS EM FUNÇÃO DOS PARÂMETROS	59

1. INTRODUÇÃO

O sector de Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC), comparativamente a outros sectores, é o que possui os sistemas de monitorização mais primitivos (Navon e Sacks, 2007), sendo no entanto considerado um dos mais promissores em termos de aplicação de Realidade Aumentada (RA) e *Building Information Models* (BIM) como ferramentas de monitorização (Hakkarainen *et al.*, 2010).

A taxa de produtividade na construção tende a ser substancialmente menor do que nas outras indústrias (Park *et al.*, 2012), pelo que a utilização destas duas ferramentas em conjunto pode facilitar o planeamento, construção, fiscalização, segurança e custo da obra.

O uso da RA aliada a modelos 4D BIM (3D + planeamento) na construção permite o acompanhamento de obra a qualquer momento (Hakkarainen *et al.*, 2010), reduzindo a possibilidade de ocorrerem erros.

A grande vantagem deste tipo de tecnologia é a possibilidade de ter um planeamento dinâmico e de fácil percepção, onde o fluxo de informação é constante e nos dois sentidos, planeamento-construção e construção-planeamento.

Actualmente a medição e monitorização de obra necessita de demasiado tempo e informação para ser exacta, pelo que a recolha da informação relativa à evolução de obra também é um problema, pois depende da interpretação do trabalhador que inspeccionou determinado elemento, tornando a informação recolhida subjectiva (Golparvar-Fard *et al.*, 2009).

Outro aspecto negativo da actual medição e monitorização é o tempo despendido na descrição e explicação do progresso de obra, podendo levar a atrasos em tomadas de decisão por parte do director de obra (Golparvar-Fard *et al.*, 2009).

Para além da monitorização da obra, os trabalhos que não lhe adicionam valor são outra grande preocupação que deve ser tida em conta. *Defect-related-work*, ou defeitos relacionados com a execução, são definidos como esforços desnecessários para refazer uma actividade ou trabalho que foi mal executado da primeira vez (Park *et al.*, 2012).

Por forma a ajudar a solucionar esta grave falha na medição fiável do progresso de obra, a RA pode ter um papel preponderante. A indústria da AEC tem vindo a adoptar cada vez mais tecnologias associadas ao computador, como a RA, para melhoria de vários processos de construção e visualização, o que leva a que a percepção de todos os intervenientes sobre o projecto melhore substancialmente (Shin e Dunston, 2008).

1.1. Motivação

Cerca de 50% a 80% dos problemas na construção estão associados à falta ou atraso na partilha de informação (Howell e Ballard, 1996), pelo que a comparação entre o planeado (*as-planned*) e o construído (*as-built*) deve ser o mais frequente e precisa possível.

A recolha de informação sobre a evolução de uma obra geralmente é pouco precisa, pois não existem processos objectivos de verificação. Cada trabalhador reporta a evolução de determinada actividade pela sua percepção visual da mesma, podendo haver discrepâncias entre diferentes trabalhadores para a mesma actividade, sendo que os valores de custo, performance e evolução serão diferentes, existindo assim duas versões diferentes do *as-built* para a mesma actividade (Golparvar-Fard *et al.*, 2009).

Sabe-se também que apesar de 30% a 50% do tempo de trabalho de um engenheiro de fiscalização de obra ser passado a recolher e analisar informação relativa ao progresso da obra, pouco ou nada tem sido feito para reduzir o tempo de recolha de informação e dotar os engenheiros de fiscalização com informação precisa e instantânea (Navon e Sacks, 2007).

De modo a colmatar estas deficiências, estudos têm sido feitos de modo a integrar a RA e o BIM como ferramentas de projecto e medição.

A tecnologia BIM é cada vez mais usada. A Tekla anunciou em 2010 que o crescimento da empresa seria de 20%, indicando que a compra do *software* BIM é cada vez maior (Tekla, 2010). O crescimento deste tipo de tecnologia deve-se ao facto de ser preciso preencher muitas lacunas no que diz respeito ao projecto no sector da AEC, pois este é um dos mais fragmentados (Jiao *et al.*, 2012).

Após a implementação de BIM num caso de estudo, (Clemente e Cachadinha, 2012) concluíram que é possível diminuir os desperdícios e aumentar a eficiência de alguns processos através desta implementação, gerando um suporte visual 3D onde é possível identificar o fluxo de trabalho, conflitos de elementos e simular processos de trabalho.

A RA possibilita o transporte do modelo 3D BIM para a obra de uma forma nunca antes conseguida. Através de um aparelho portátil é possível sobrepor esse modelo à realidade, de modo a que o utilizador ganhe uma maior percepção do que irá ou está a ser construído. Segundo (Okeil, 2010) a tecnologia da RA é um dos recursos com maior potencial de oferecer ao sector AEC uma vasta gama de aplicações que trarão valor acrescentado.

No entanto, vários estudos demonstram a fiabilidade da utilização da RA no sector da AEC, como por exemplo em estruturas subterrâneas (Roberts *et al.*, 2002), na construção e inspecção de elementos arquitectónicos (Webster *et al.*, 1996) (Hammad *et al.*, 2002), no planeamento urbano (Shen *et al.*, 2001) e no acompanhamento do progresso da obra (Hakkarainen *et al.*, 2010).

O uso desta tecnologia na monitorização de obra pode ter um grande impacto na redução do *defect-related-work*. Segundo (Mills *et al.*, 2009) o custo associado a este tipo de actividades na construção de uma residência foi de 4% do valor contratual. Também (Love e Li, 2000) chegaram a valores de *defect-related-work* na construção de uma residência e de um pavilhão industrial de 3.15% e 2.40% respectivamente.

Há mais de uma década que os investigadores realçam as deficiências do actual sistema de recolha de dados e destacam a necessidade de criar um sistema automático de recolha e processamento de dados que permita um acompanhamento em tempo real (Navon, 2007).

Apesar dos esforços que estão a ser desenvolvidos na integração destas duas tecnologias, actualmente não existe uma tecnologia que satisfaça por completo as necessidades do sector da AEC (Jiao *et al.*, 2012).

Associado ao acompanhamento de obra está o cumprimento do planeamento. O sector da construção civil é alvo de bastantes críticas relacionadas com atrasos na execução e derrapagens orçamentais excessivas (Pilar, 2009). Foi constatado que as causas para estes atrasos e derrapagens eram sistemáticas e que não existe uma linha de boas práticas a seguir ao longo do ciclo de vida da obra (Cunha *et al.*, 2011).

Num relatório publicado em 2009 pelo Tribunal de Contas foram identificadas as principais causas para os problemas expostos anteriormente, estando entre elas (TC, 2009):

- Execução da obra em simultâneo com a execução do projecto;
- Alteração dos processos construtivos;
- Mudanças a nível do projecto;
- Trabalhos a mais;
- Execução de trabalhos não previstos no projecto;

Estes atrasos têm repercussões económicas gravosas, principalmente num país como Portugal, onde o sector da construção representa 10,7% do emprego e 5,2% do Produto Interno Bruto (PIB) (AICCOPN, 2010). Rubio (Rubio, 1992) constatou que qualquer atraso produz efeitos imediatos na economia:

- Micro-económicos – repercutem-se directamente sobre o resultado económico da obra. Quanto menos tempo for a sua duração, menos serão os custos associados;
- Macro-económicos – a alteração da data de entrada ao serviço do objecto construído tem repercussões ao nível da qualidade de vida e da produtividade da comunidade que essa obra irá servir;

Obras de referência de iniciativa do Estado, como a Casa da Música no Porto, o Centro Cultural de Belém ou a Ponte Rainha Santa Isabel em Coimbra, apresentaram valores de derrapagem orçamental de 235%, 300% e 117,6% respectivamente. Daí resultaram alterações ao Código dos Contractos Públicos (CCP), definindo limites máximos para trabalhos a mais e erros e omissões.

A actualização do planeamento é uma actividade fundamental para o controlo eficaz da obra, e tem forte impacto sobre a duração e custos finais das empreitadas.

De acordo com o artigo 403º do CCP:

1. “Em caso de atraso no início na conclusão da execução da obra por facto imputável ao empreiteiro, o dono de obra pode aplicar uma sanção contratual, por cada dia de atraso, em valor correspondente a 1‰ do preço contratual, sem prejuízo de o contrato poder prever valor mais elevado, até ao dobro daquele valor.”
2. “Em caso de incumprimento de prazos parciais de execução de obra por facto imputável ao empreiteiro, é aplicável o disposto no número anterior, sendo o montante da sanção contratual aí prevista reduzido a metade.”
3. “O empreiteiro tem o direito ao reembolso das quantias pagas a título de sanção contratual por incumprimento de prazos parciais de execução da obra, quando recuperar o atraso na execução dos trabalhos e a obra seja concluída dentro do prazo de execução do contrato.”

Desta forma, o empreiteiro deve sempre zelar por um controlo rigoroso do planeamento, sob pena de pesadas coimas.

Torna-se então evidente que é necessária uma evolução nos métodos de monitorização e medição em obra, permitindo o cumprimento das estimativas de custos e tempo, bem como o aumento da segurança em obra, garantindo a sustentabilidade das empresas que trabalham com o sector AEC.

1.2. Problemática

A actual tecnologia de medição e monitorização de obras tem bastantes deficiências que levam a que seja muito demorada e imprecisa. (Navon, 2007) identificou as principais deficiências como:

- Trabalho de recolha intensivo;
- Baseado em informação recolhida manualmente;
- Necessita de muita informação extraída de desenhos, planeamentos e bases de dados;

- A qualidade da informação recolhida manualmente é de baixa qualidade e podem ocorrer erros de grande gravidade;

Devido a todas estas condicionantes, é bastante difícil conseguir controlar uma obra em tempo real, ou com uma frequência diária.

No sentido de conseguir melhorar o acompanhamento em obra, podem aplicar-se conceitos de RA a modelos BIM, de modo a fazer a comparação do *as-built* com o *as-planned* obtendo assim o progresso da obra que, associado às actividades do planeamento, permite a alteração do mesmo em caso de atraso ou avanço, a listagem dos materiais utilizados até à data e o custo associado. No limite da tecnologia será possível elaborar um auto de medição instantâneo a qualquer altura, utilizando um aparelho móvel (iPad, Telemóvel, PDA, etc).

A possibilidade de monitorizar e medir actividades numa obra através de processos padronizados e com fiabilidade é real, sendo que já existem investigações com recurso a outro tipo de tecnologias como scan de laser (Kim *et al.*, 2013). Esta aproximação tecnológica tem algumas limitações, como o custo do equipamento de varrimento laser, a necessidade de serem feitas várias medições e o facto de ser um método estático.

A alteração da tecnologia de *laser scan* para RA permite medições instantâneas e comparação visual bastante mais facilitada do *as-planned* com o *as-built*, e reduz os custos de aplicação. Com a RA basta desenvolver um *software* que possa ser utilizado num aparelho portátil como um *laptop*, *smartphone* ou *tablet*.

Apesar de terem sido desenvolvidos esforços no campo da RA aplicada à construção (Golparvar-Fard *et al.*, 2009) (Berlo *et al.*, 2009), ainda não existe uma tecnologia que faça a medição do progresso de obra e o ajustamento do planeamento.

A grande dificuldade referida na literatura para a utilização da RA como ferramenta de auxílio em obra está relacionada com a superimposição dos modelos 3D na realidade, e com a forma de conseguir recolher a informação *as-built*. No entanto, com o avanço da tecnologia é possível começar a desenvolver protótipos suportados exclusivamente pela RA.

Wang *et al.* (Wang *et al.*, 2012) debruçaram-se sobre este assunto e investigaram quais as relações que poderiam ser feitas entre o BIM e RA. Para tal desenharam uma plataforma conceptual onde analisaram quais as possibilidades de relações que podem existir e quais os *inputs* que deverão ser tidos em conta. Ainda assim, os autores não foram mais além do que identificar áreas de aplicação e possíveis relações que poderiam existir, deixando a porta aberta para a definição dessas relações.

O VTT Technical Research Center of Finland, no entanto, mostra grandes avanços na implementação da RA a modelos BIM, nomeadamente com o desenvolvimento do software *AR4BC* (*Augmented Reality for Building and Construction*) (Woodward, 2009).

Por tudo isto, esta dissertação é impulsionada pela seguinte questão de investigação:

Como pode a RA ser utilizada para fazer a comparação entre *as-planned* e o *as-built*, por forma a obter-se uma medição do progresso, actualização do planeamento e do custo da obra?

1.3. Hipóteses de Estudo

A relação entre a RA e o BIM pode considerar-se uma simbiose, no que toca à aplicação no sector da AEC. Esta dissertação pretende aplicar a RA a modelos BIM na medição de produção em obra, para obter de forma fiável o progresso da mesma, a actualização automática do planeamento e os custos associados, tendo as seguintes hipóteses de estudo:

- i. A medição do progresso de obra através de RA aliada ao BIM é um processo possível;
- ii. A RA aplicada ao BIM permite actualizações com elevado grau de precisão do progresso do planeamento;
- iii. A utilização da RA permite eliminar o *making do* na construção detectado nos métodos de planeamento baseados no CPM

1.4. Objectivos parcelares

Esta dissertação tem por objectivo propor uma plataforma conceptual para analisar o progresso das actividades em obra, comparando o estado actual da mesma (*as-built*) com o seu modelo BIM associado ao planeamento e ao mapa de quantidades (*as-planned*), usando RA e chegando a conclusões reais e simples sobre o seu progresso.

Pretende também conseguir fazer uma actualização automática do planeamento, baseada na informação *as-built*, de modo a que o planeamento esteja sempre de acordo com o que está a ser executado.

Para tal, foram definidos os seguintes objectivos parcelares:

- i. Modelar as relações entre o modelo 3D, planeamento e mapa de quantidades;
- ii. Propor uma plataforma que articula a informação *as-planned* com a informação *as-built*;

1.5. Estrutura da Dissertação

De modo a facilitar o entendimento desta dissertação, serve o presente subcapítulo para esclarecer como será desenvolvida a estrutura da mesma.

O capítulo 1 é uma pequena introdução ao tema, explicando as motivações do estudo, os actuais problemas relacionados com o tema, identifica-se qual a pergunta central de investigação, as hipóteses de estudo e os objectivos a cumprir.

No capítulo 2 aborda-se o estado do conhecimento no sector AEC relativo à tecnologia existente em torno do BIM e da RA e como estas se podem combinar. Também será feita uma revisão de duas metodologias de planeamento.

O capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada na investigação e quais as suas implicações.

No capítulo 4 é apresentada a plataforma conceptual, que será baseada em todas as elações tiradas do capítulo 2, de acordo com a metodologia proposta. Será também apresentada uma nova metodologia de planeamento.

O capítulo 5 analisa os processos da plataforma proposta no capítulo 4, discute quais as suas funções, situações aplicáveis e limitações. Analisa também os problemas identificados no método planeamento predominante no sector AEC, propondo um complemento que elimina esses problemas.

O capítulo 6 apresenta as conclusões, identifica se os objectivos foram cumpridos, analisa se as hipóteses de estudo foram comprovadas e tenta responder à questão de investigação. As perspectivas futuras de investigação também se encontram presentes neste capítulo.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1. BIM

Actualmente os projectos são cada vez mais complexos e difíceis de controlar. Como resposta a essa complexidade, na última década as tecnologias de informação e comunicação (TIC) desenvolveram-se a um ritmo extraordinário de modo a criar uma tecnologia que servisse na perfeição o sector AEC. No processo de evolução das TIC surgiu o conceito BIM.

BIM, abreviatura de *Building Information Modelling/Model*, é definido como “um conjunto integrante de políticas, processos e tecnologias, gerando uma metodologia que permite controlar o projecto em termos de *design* e informações essenciais em formato digital durante o ciclo de vida do mesmo” (Succar, 2009).

A criação deste conceito permitiu reduzir as dificuldades de interoperabilidade entre arquitectos, engenheiros, fornecedores, subcontratados, bem como as diversas especialidades do projecto (Clough *et al.*, 2005).

Desta forma, se toda a informação relevante para o projecto for condensada num só ficheiro informático torna-se substancialmente mais fácil aceder a qualquer tipo de informação relacionada com o mesmo.

O crescimento e aceitação desta tecnologia tornou-se evidente nos últimos anos, o que levou o governo do Reino Unido a legislar que todos os contractos celebrados requererão que todos os empreiteiros e subempreiteiros trabalhem de forma colaborativa 3D através de uso de BIM (CabinetOffice, 2011).

2.1.1. Estado actual do BIM no sector AEC

Actualmente a implementação do BIM ainda está em crescimento, faltando muito para que todas as suas possibilidades sejam totalmente aproveitadas pela indústria.

De modo a entender o nível de implementação do BIM no sector AEC, Khemlani realizou um inquérito a 651 utilizadores de *software* BIM (Khemlani, 2007).

A primeira ilação que pode ser retirada é que a utilização do BIM é feita maioritariamente por arquitectos e técnicos informáticos, sendo que os engenheiros civis são os que menos o utilizam, como pode observar-se na Figura 2.1. Outra conclusão a que Khemlani chegou foi que a utilização do BIM é mais direccionada para a arquitectura, *design* de interiores e planeamento (Figura 2.2).

Por forma a descrever a implementação do BIM no sector AEC, Khemlani definiu como principais conclusões:

- Nas práticas comuns, a colaboração ainda é feita com base em desenhos 2D, ainda que a maior parte das especialidades trabalhe em ambientes 3D;

- Existe uma grande necessidade para existência de bibliotecas mais avançadas e abrangentes;
- Existe um aumento na procura de tecnologias que suportem o trabalho de equipa;
- A visualização 3D não é a principal preocupação, sendo sim a precisão dos modelos;
- Existe uma necessidade urgente de melhorar a formação e o apoio técnico;
- O suporte para análise, simulação de performances e interoperabilidade de informação são importantes, mas não são decisivos.

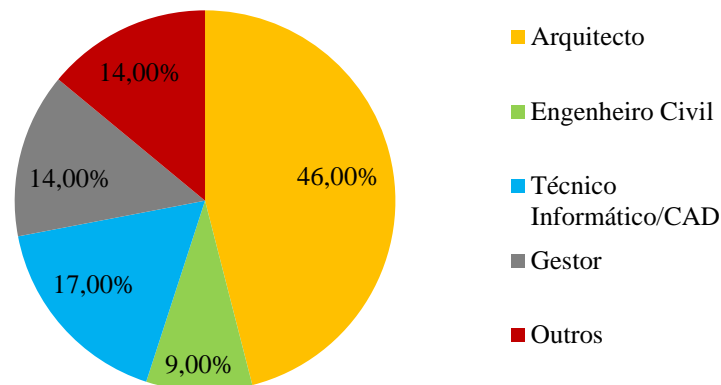


Figura 2.1 – Distribuição da utilização do BIM por profissão (Khemlani, 2007)

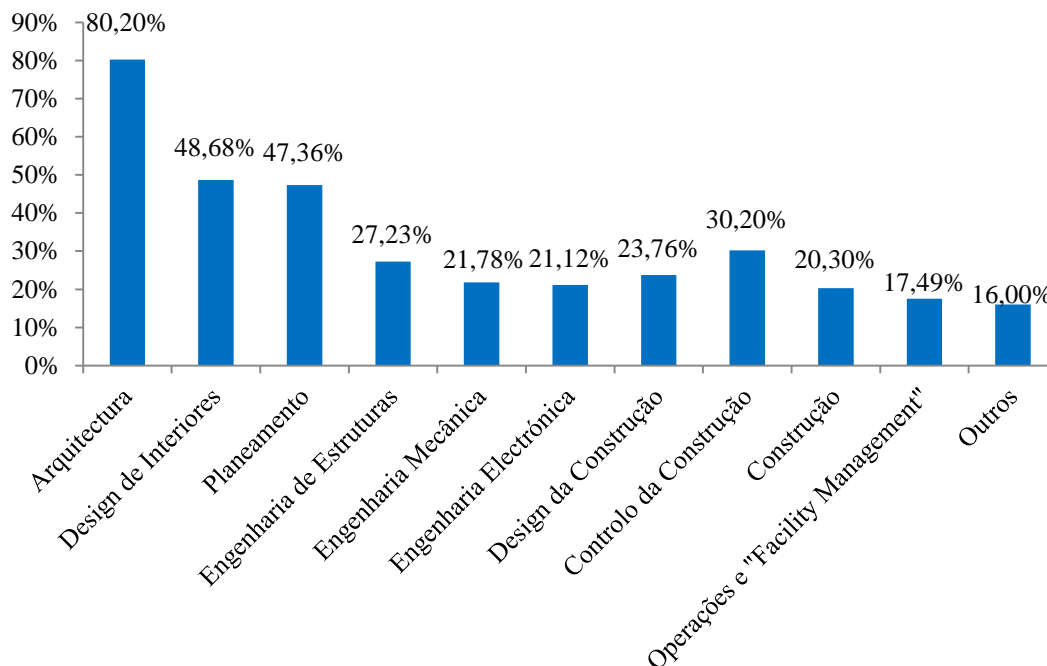


Figura 2.2 - Distribuição da utilização do BIM por especialidade (Khemlani, 2007)

2.1.2. Benefícios do BIM

O BIM traz para o sector AEC uma forma de trabalhar que vem aproximar todas as especialidades presentes em obra, ajudando assim um sector que se considera fracturado. Por si só, isto pode representar um grande avanço para o sector, mas o BIM vai mais além. A versatilidade do BIM permite que seja usado em todas as fases de projecto (Grilo e Jardim-Goncalves, 2010):

- Pelo dono de obra para identificar as necessidades do projecto;
- Pelo projectista para analisar, desenhar e desenvolver o projecto;
- Pelo empreiteiro para monitorização da construção;

Um estudo levado a cabo por Bryde e Broquetas sobre 35 projectos que utilizaram BIM, revelou que esta tecnologia tem enormes benefícios para o sector. Para tal, analisaram cada projecto em nove sectores distintos, sendo que dentro de cada sector foi analisada diferença entre benefícios positivos e negativos, resultando os valores apresentados no Quadro 2.1. Segundo os autores, existe um benefício negativo quando “o resultado da implementação BIM agrava o sector em análise”, por exemplo, um benefício negativo no “Controlo do planeamento ou antecipação” está associado ao tempo extra necessário para criar o modelo 3D BIM inicial.

Quadro 2.1 - Benefícios da utilização de BIM em projectos (Bryde *et al.*, 2013)

Critério de Sucesso	Benefício Positivo			Benefício Negativo		
	Número de Ocorrências Totais	Número Total de Projectos	% Total de Projectos	Número de Ocorrências Totais	Número Total de Projectos	% Total de Projectos
Controlo ou redução de Custos	29	21	60.00%	3	2	5.71%
Controlo do planeamento ou antecipação	17	12	34.29%	4	3	8.57%
Melhoramento de Comunicação	15	13	37.14%	0	0	0.00%
Melhoramento de Coordenação	14	12	34.29%	7	3	8.57%
Controlo ou melhoramento da Qualidade	13	12	34.29%	0	0	0.00%
Redução de Riscos Negativos	8	6	17.14%	2	1	2.86%
Clarificação do entendimento do projecto	3	3	8.57%	0	0	0.00%
Melhoramento da Organização	2	2	5.71%	2	2	5.71%
Problemas de Software	0	0	0.00%	9	7	20.00%

A implementação do conceito BIM a projectos traz um grande benefício em termos de custo, planeamento, comunicação, coordenação e qualidade. Estes benefícios podem ainda ser aumentados caso a implementação de BIM seja feita desde o início do projecto.

(Clemente e Cachadinha, 2012) modelaram em BIM uma gare ferroviária, com vista a utilizar imagens 3D nas reuniões de obra na reabilitação do edifício em estudo. Após a implementação do BIM no caso de estudo, os autores identificaram os benefícios percebidos pelos trabalhadores:

- Coordenação, colaboração e planeamento: *“Muitos esforços de coordenação serão resolvidos na cabeça das pessoas antes de chegarem ao local de trabalho... não há dúvida que isso irá poupar tempo. No caso desta obra permitiu-nos coordenar com outra equipa, evitando assim a abertura de alguns tectos-falsos comuns”*;
- Visualização: *“Existem muitos trabalhadores que conseguem olhar para plantas 2D e ver o edifício na cabeça, eu não consigo, e a visualização é uma grande ajuda durante o trabalho, especialmente quando estamos a lidar com infra-estruturas ocultas pela estrutura.”*
- Comunicação: *“Existem sempre zonas que levantam algumas dúvidas técnicas, neste caso acontecia especialmente com locais onde não encontrávamos espaço para passar mais cablagem, recorrendo ao modelo tornava-se fácil explicar ao responsável pela obra o local exacto do problema e gerar uma alternativa.”*

Ainda que sejam identificados alguns constrangimentos à implementação BIM, como o custo da compra do *software* e actualização do *hardware*, a necessidade por parte das empresas de dar formação sobre o *software* e o tempo consumido a fazer a modelação, os benefícios a médio-longo prazo da implementação BIM irão suplantar estas dificuldades iniciais.

2.1.3. O Futuro do BIM no sector AEC

Devido à sua versatilidade, a tecnologia BIM está a expandir-se cada vez mais a todos os campos do sector AEC. O facto de ainda estar numa fase bastante recente de desenvolvimento permite que o feedback dado pelos utilizadores deste tipo de tecnologia seja uma parte integrante na sua evolução.

O futuro do BIM pode ser analisado em três parâmetros diferentes:

- Em termos de produto;
- Em termos de processos;
- Em termos de pessoal;

2.1.3.1 Produto

A evolução do BIM em termos de produto depende muito do feedback dos utilizadores e da profissão que desempenham. Para profissões de *design*, como os arquitectos, as suas expectativas são de que o BIM seja uma extensão do CAD, enquanto para os donos de obra e os gestores de projecto, o BIM deveria seguir um caminho mais virado para *Document Management System* (DMS) onde se possa extrair informação directamente dos modelos para análises como o planeamento, *cash-flow*, simulação de cenários de risco, etc. (Gu e London, 2010).

Khemlani procurou saber quais as perspectivas e evoluções que os utilizadores de BIM preferem e elaborou um questionário com dois critérios de desenvolvimento destintos. Para tal, cada entrevistado deveria seleccionar numa escala de cinco posições qual a sua preferência entre cada par de critérios, sendo que a posição mais à esquerda indicaria uma forte preferência pelo critério #a e a posição mais à direita uma forte preferência pelo critério #b. Esta escala foi depois transformada numa escala de tendência, sendo que se todos os inquiridos tivessem escolhido a opção mais à esquerda o valor do critério #a seria 10 e do critério #b seria 0. Por sua vez, se para um par de critérios houvesse o mesmo número de respostas em cada posição, o resultado seria de 3 preferem #a, 2 preferem neutro e 3 preferem #b. Os resultados são apresentados no Quadro 2.2.

Através da análise dos resultados é claro que os utilizadores preferem que o BIM siga uma vertente de soluções versáteis e colaborativas, ainda que em contraste com uma base de dados única, mas mais fácil de utilizar e controlar.

Os notórios benefícios que o BIM trouxe no controlo de documentação e complementação dos elementos 3D com informação relevante são evidenciados com uma classificação de 5,21 na opção “Aplicação BIM que aumente as capacidades de documentação e tenha a visualização de uma plataforma CAD” mostrando que os utilizadores apreciaram esta possibilidade e gostariam que fosse ainda mais explorada.

Quadro 2.2 - Preferências de evolução do BIM (Khemlani, 2007)

Critério #a	Média Ponderada			Critério #b
	Prefere #a	Neutro	Prefere #b	
Soluções versáteis que suportem a colaboração e processos de trabalho	3.49	2.11	2.20	Uma solução com uma base de dados única, de fácil organização e controlo
Aplicação BIM que aumente as capacidades de documentação e tenha a visualização de uma plataforma CAD	5.21	1.70	1.26	Aplicação BIM que seja mais eficiente na modelação, mas menos desenvolvida na documentação e visualização
Modelação com mais restrições, garantido a integridade do modelo	2.67	1.97	2.88	Modelação mais flexível, onde o utilizador por mudar a integridade do modelo
Coordenação e controlo completamente automáticos após alterações	4.61	1.68	1.46	Coordenação e controlo semi-automáticos mas com performance mais rápida
Intuitivo e com uma curva de aprendizagem pequena, fácil de entender	3.67	1.64	2.39	Especificação e focalização em modelar formas complexas
Suporte para 3D PDF com propósitos de distribuição e publicação electrónica	4.32	3.22	1.13	Suporte para 3D DWF

2.1.3.2 Processos

A adopção do BIM requererá uma alteração nas praticas de trabalho actuais. Um modelo integrado de desenvolvimento necessita de grande colaboração e comunicação entre as diferentes disciplinas, pelo que muitos dos processos de trabalho actuais não servirão para integrar uma plataforma BIM devido à sua falta de colaboração entre intervenientes. Para implementar o BIM os processos devem ser reestruturados de modo a que vários intervenientes contribuam para um modelo de trabalho partilhado (Goedert e Meadati, 2008).

2.1.3.3 Pessoas

Devido à complexidade dos modelos BIM, começam a aparecer novas funções nas equipas de projecto. Funções como “Gestor de BIM” ou “Desenhador de BIM” serão inevitáveis num futuro próximo, sendo que já existem equipas com este tipo de funções.

A inevitabilidade do aparecimento destas novas funções leva a que no futuro, a formação das pessoas tenha de ainda mais ser específica por forma a participarem e contribuírem na evolução do ambiente de trabalho (Gu e London, 2010).

2.2. Realidade Aumentada

Realidade Aumentada (RA) é a tecnologia que permite sobrepor informação/imagens criadas por computador a imagens do mundo real.

De modo a enquadrar este conceito e ser mais fácil o seu entendimento, Milgram et al. (1994) propuseram o diagrama presente na Figura 2.3. Estes autores propuseram o conceito de “Realidade Misturada” para todas as combinações de elementos reais ou virtuais. Enquanto a Virtualidade Aumentada cria um ambiente onde o uso de elementos virtuais é predominante e tenta substituir o mundo real, a Realidade Aumentada cria um ambiente onde os elementos virtuais são sobrepostos ao mundo real.

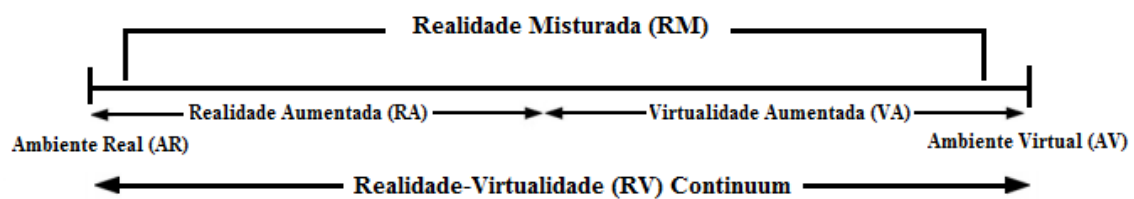


Figura 2.3 – Diagrama da Realidade-Virtualidade Continuum (Milgram *et al.*, 1994)

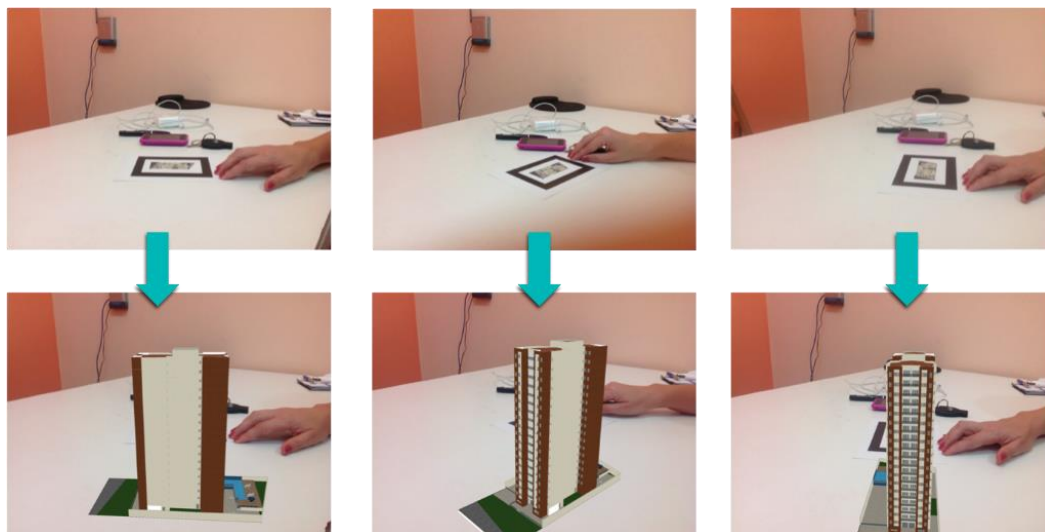


Figura 2.4 – Exemplo de RA utilizando marcadores 2D (LiveMedia, 2013)

Diversos autores definem sistemas RA com o recurso a *Head Mounted Displays* (HMD), que são aparelhos de visualização, nomeadamente óculos ligados a computadores, que se colocam na cabeça do utilizador e através dos quais este consegue visualizar as imagens produzidas por computador.



Figura 2.5 – Exemplo de um *Head Mounted Display* (Broll *et al.*, 2004)

Este conceito foi explorado pelo gigante Google, através do projecto “Project Glass”, que em 2012 lançou 1500 exemplares *beta*, esgotando de imediato. Este HMD, com um *design* mais apelativo (Figura 2.6), tem à disposição do utilizador diversas aplicações, como GPS, partilha de imagens e vídeos, ligação à internet, chamadas e videoconferências (Google, 2012).



Figura 2.6 – Aplicações possíveis para os Google Glass

No entanto, (Azuma, 1997) propôs uma definição para os sistemas de RA sem recurso a HMD, por considerar que estes poderiam ser uma limitação à implementação dos sistemas. Sendo assim, Azuma definiu que um sistema de RA deve ter três características:

- Combinar a realidade com o virtual
- Interacção em tempo real
- Visualização 3D

Mais tarde, (Azuma *et al.*, 2001) dividiu as interfaces de RA em três grandes grupos:

- HMD
- Manuais
- Ecrãs de Projecção

Os sistemas de RA manuais, traduzido do inglês *handheld*, são baseados em equipamentos que possam ser utilizados apenas recorrendo às mãos, como *smartphones*, *tablets* ou computadores portáteis. Estes aparelhos impõem a informação virtual directamente no ecrã do mesmo.

Os sistemas de RA que utilizam ecrãs de projecção, nomeadamente o CAVE (*Computer Augmented Virtual Environment*), projectam a informação virtual e real sobre ecrãs que circundam o utilizador, como se pode ver na Figura 2.7.



Figura 2.7 – Exemplo do sistema CAVE (InterSense, 2013)

A RA aumenta a percepção e interacção do utilizador com o mundo real. Os objectos virtuais disponibilizam informação que o utilizador não conseguiria detectar utilizando apenas os seus conhecimentos e sentidos. Através da utilização do computador como ferramenta para facili-

tar o entendimento de tarefas reais, a informação transmitida pelos objectos virtuais ajuda o utilizador na execução das mesmas (Brooks, 1996).

Para que a RA imponha objectos virtuais sobre a realidade, é sempre necessário um aparelho intermediário para a visualização, pois o objecto não é verdadeiramente sobreposto ao mundo real, caso contrário tratar-se-ia de um holograma.

2.2.1. Realidade Aumentada no sector AEC

2.2.1.1 Educação e Formação

A RA traz grandes benefícios para o sector da AEC, que podem desde logo ser adquiridos no início da formação dos profissionais da área.

Devido à possibilidade de sobrepor imagens virtuais no mundo real, a RA consegue simular qualquer tipo de processo construtivo, acções sobre estruturas, máquinas, etc. Utilizando a base de dados *ARToolkit*, uma das mais antigas base de dados de objectos e um *HMD*, que não é mais que um dispositivo de visualização que relaciona um código 2D com o objecto 3D correspondente na base de dados, foi possível criar um protótipo chamado *GEN-1 AR Book* (Figura 2.8 e Figura 2.9), baseado em marcadores 2D que é um livro direccionado para os estudantes de engenharia civil e arquitectura, onde estes podem aceder a filmes e modelos 3D, o que de outra forma seria praticamente impossível (Behzadan e Kamat, 2012).

Este tipo de utilização da RA no ensino de profissões relacionadas com o sector AEC permite reproduzir actividades que seriam impossíveis de incluir num plano curricular, pela sua duração, complexidade e custo.

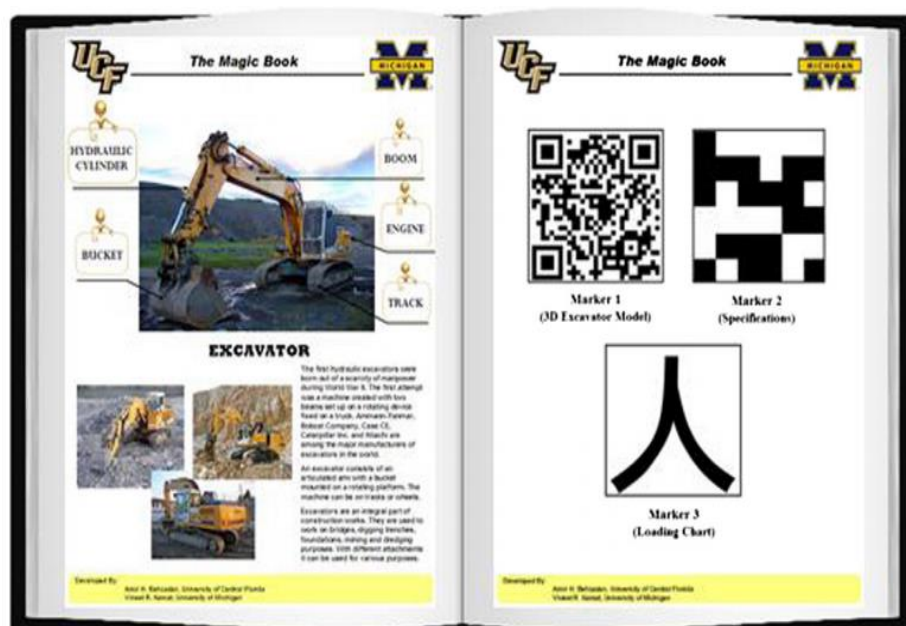


Figura 2.8 – *GEN-1 AR Book* - Informação relevante sobre o equipamento e os marcadores 2D de RA (Behzadan e Kamat, 2012)

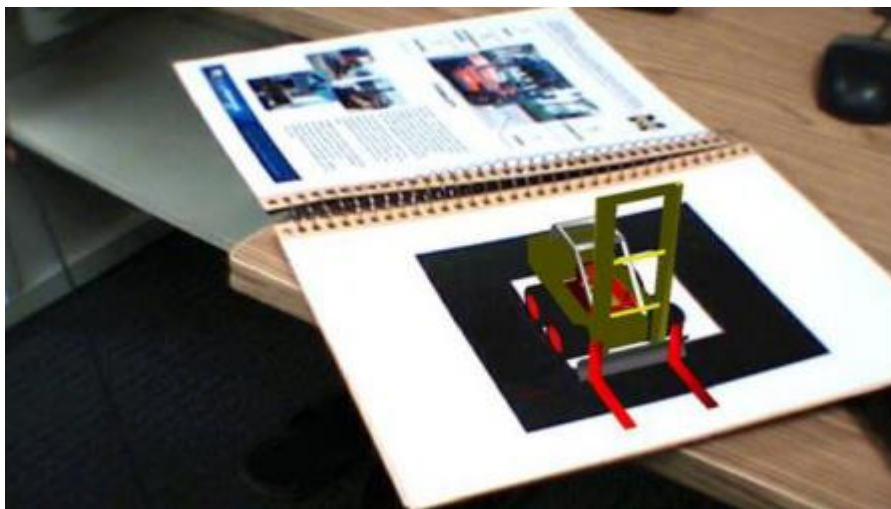


Figura 2.9 – Visualização do *GEN-1 AR Book* através do *HMD* (Behzadan e Kamat, 2012)

2.2.1.2 Visualização

É nesta categoria que o uso de RA tem vindo a aumentar cada vez mais. O VTT, Centro Técnico de Pesquisa da Finlândia desenvolveu um *software* que permite a visualização de modelos BIM através de RA chamado AR4BC (*Augmented Reality For Building and Construction*) (Woodward, 2009).

Este sistema permite a fixação do modelo 3D geograficamente, através da utilização do Google Earth (Figura 2.11). Após o modelo conter as coordenadas geográficas exactas retiradas

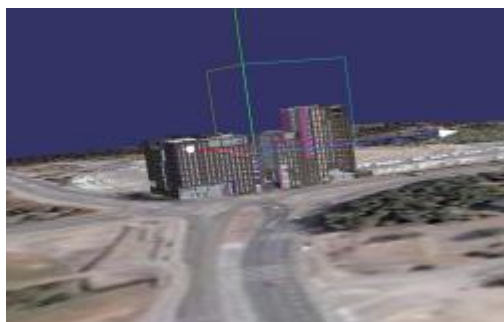


Figura 2.11 – Fixação do modelo no Google Earth (Woodward, 2009)



Figura 2.10 – Visualização do modelo no mundo real através da RA em *live stream* (Woodward, 2009)

do Google Earth, é utilizado o *software* desenvolvido pelo VTT para impor o modelo sobre o mundo real e fixá-lo, para que deste modo, mesmo que o utilizador se movimente o modelo mantenha a orientação e escala (Figura 2.10).

A visualização do modelo poderá ser feita através de um computador ou de uns óculos ligados ao computador. O *software* desenvolvido pelo VTT permite também sobrepor apenas os elementos que estão previstos construir para uma determinada data, como pode ver-se na Figura 2.12.

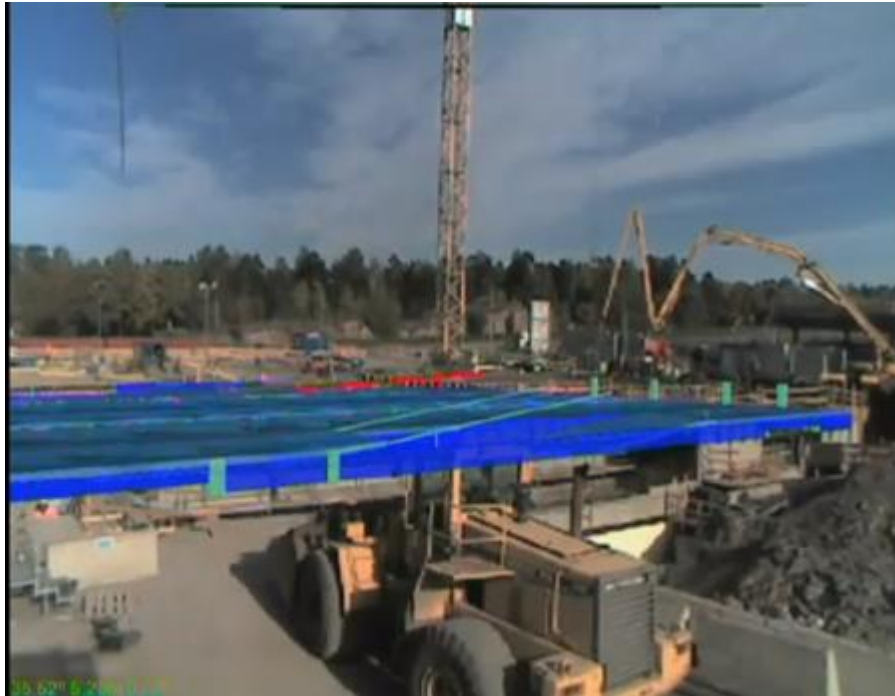


Figura 2.12 – Sobreposição dos elementos a construir utilizando RA (VTT, 2010)

2.2.1.3 Inspeção e Monitorização

Tendo já sido comprovados os benefícios que a RA traz ao sector AEC, os investigadores começaram a desenvolver métodos e sistemas de inspeção e monitorização através do uso de RA.

Golparvar-Fard (Golparvar-Fard *et al.*, 2009) desenvolveu um sistema de RA que utiliza fotografias tiradas ao longo da obra para conseguir acompanhar o progresso da mesma. O conceito tem por base que as fotografias sejam tiradas sempre do mesmo ponto e com a mesma inclinação, para que aquando da superimposição do modelo não haja discrepâncias nem falhas. Golpar-



Figura 2.13 – Imposição do modelo IFC sobre uma fotografia da obra (Golparvar-Fard *et al.*, 2009)

var-Fard et al. optou por utilizar modelos IFC 3D com o planeamento anexado, ou seja, é possível ter uma perspectiva 3D da evolução da obra para qualquer altura. Foi utilizado também um esquema de cores para definir o tipo de actividades, sendo que o verde-escuro representa actividades adiantadas, o verde-claro actividades a decorrer dentro do tempo e a vermelho actividades atrasadas (Figura 2.13).

Para conseguir comparar o progresso da obra com o planeamento, são necessários 5 passos:

1. Retirar uma fotografia no progresso actual da obra
2. Retirar um *printscreen* do modelo da evolução expectada para a data da foto
3. Sobrepor o *printscreen* do modelo com a fotografia
4. Comparar manualmente o progresso actual com o esperado
5. Utilizar o código de cores para facilitar a interpretação visual

Park (Park *et al.*, 2012) também desenvolveram um sistema utilizando RA, mas com modelos BIM, em vez de IFC como Golparvar-Fard. É baseado na comparação de imagens 2D da obra, com imagens 2D retiradas do modelo BIM 3D e comparadas por sobreposição utilizando a RA.

Park simulou o *as-built* utilizando uma pequena maquete com uma janela, uma porta e dois tubos azuis, e no modelo BIM simulou a maquete com pequenas alterações, nomeadamente alterou a distância entre a porta e a janela e adicionou um terceiro tubo azul ao modelo.

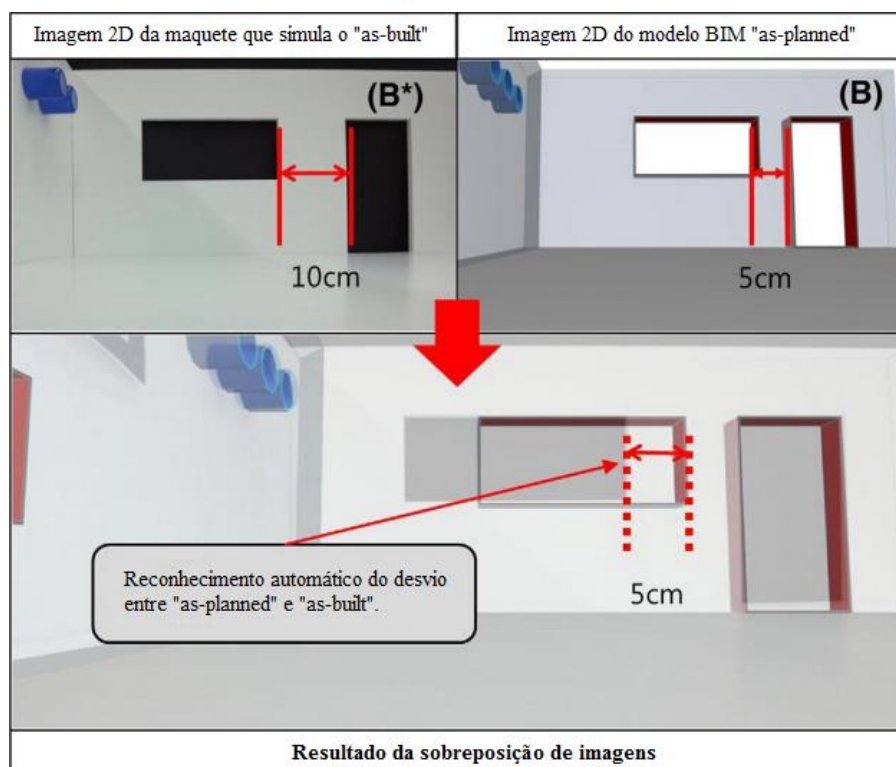


Figura 2.14 – Comparação automática entre *as-built* e *as-planned* (Park *et al.*, 2012)

De modo a comparar as discrepâncias entre as duas imagens, uma da maquete e outra do modelo, foi desenvolvida uma linha de código específica para a experiência que permite-se detectar diferenças automaticamente (Figura 2.14).

2.2.2. Benefícios da Realidade Aumentada

O grande aumento de estudos e aplicações de RA nos últimos anos mostra uma tendência cada vez maior que esta tecnologia pode trazer muitos benefícios.

(Rankouhi e Waugh, 2012) levaram a cabo um estudo para entender qual a evolução na publicação de artigos sobre RA desde 1999 até 2011 nas revistas *Journal of Automation in Construction* (AiC), *Journal of Information Technology in Construction* (ITcon) e na *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* (JCEM).

Como se pode comprovar pela Figura 2.15, a RA despertou o interesse dos investigadores nos últimos 5 anos. Este interesse está directamente relacionado com os benefícios que podem advir da aquisição deste tipo de tecnologia.

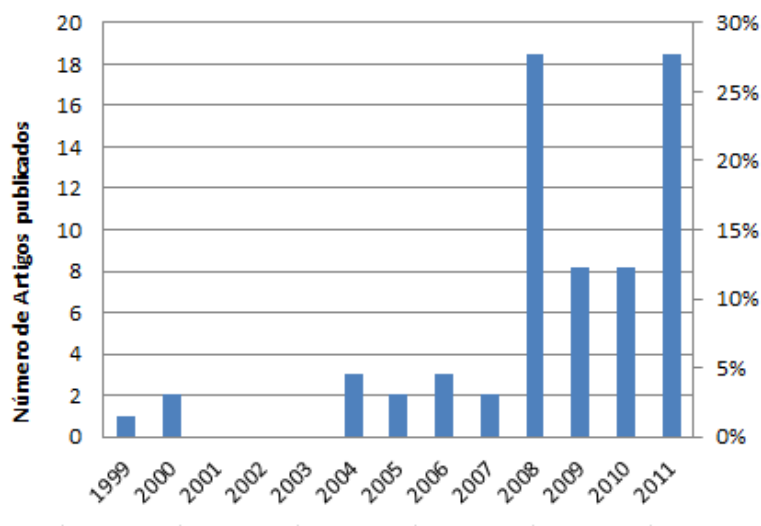


Figura 2.15 – Número de artigos publicados sobre RA nas revistas AiC, ITcon e JCEM (Rankouhi e Waugh, 2012)

Para tentar comprovar que a utilização da RA pode ser benéfica, Hou (Hou e Wang, 2013) levaram a cabo uma experiência que consistia em dar formação sobre a montagem de um Lego, com e sem recurso a RA, e passado 6 minutos pedir aos elementos do estudo que comesçassem a montar o Lego.

Os resultados obtidos por Hou e Wang são bastante esclarecedores e revelam que quem teve formação com RA conseguiu completar a montagem mais rápido e com menos erros do que quem obteve formação manual. Na Figura 2.16 são mostradas as curvas de aprendizagem em função dos resultados obtidos.

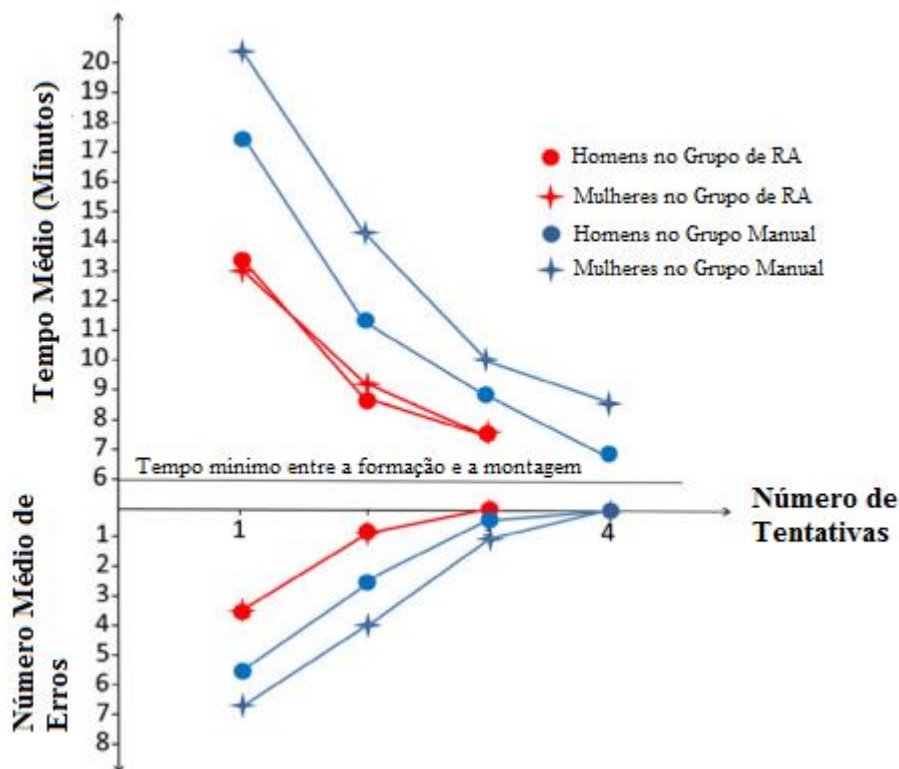


Figura 2.16 – Curva de aprendizagem na montagem do Lego (Hou e Wang, 2013)

(Shin e Dunston, 2008) levaram a cabo uma investigação para entender se a utilização RA poderia trazer benefícios para o sector AEC e identificar quais as tarefas que beneficiam dessa utilização.

Das 17 tarefas pré-definidas pelos investigadores, identificando diferentes tipos de trabalho, 8 tarefas provaram que podem beneficiar potencialmente do uso de RA (*layout*, escavação, posicionamento, inspecção, coordenação, supervisão, comentários, estratégia).

Não só os investigadores prevêem benefícios no uso da RA na construção. Um inquérito feito por Behzadan e Kamat (Behzadan e Kamat, 2012) a 63 estudantes do último ano de Engenharia Civil revelou que 93% destes sentem que a sua educação pode ser melhorada através do uso de tecnologias como a RA.

As práticas correntes na monitorização do progresso da construção ainda têm muitas possibilidades de melhoramento com a integração de *cyber*-informação nas operações do dia-a-dia efectuadas nas obras (Bae *et al.*, 2012).

Segundo (Kirner e Tori, 2004), a RA apresenta um elevado potencial para a visualização de informação, estabelecendo uma interacção mais amigável e natural com o meio envolvente.

2.3. Realidade Aumentada aliada ao BIM

A integração da RA com modelos BIM permite levar para obra a totalidade do projecto e interpretá-lo visual e espacialmente. A exportação dos modelos BIM para obra usando a RA é o passo necessário para melhorar a fragmentação existente no sector AEC, pois trata-se de um processo colaborativo que requer o envolvimento de todas as especialidades e que trabalhem em sintonia. Por forma a implementar um sistema que use a RA como veículo de visualização dos modelos BIM em obra, é necessário que ultrapasse três condições críticas (Jiao *et al.*, 2012):

- Usabilidade
- Fonte de objectos virtuais
- Colaboração

A usabilidade está ligada a condições de implementação fácil e a que a sua utilização seja mais conveniente. Não seria possível implementar um sistema que tem por base a RA e modelos BIM sem que o retorno fosse mais fácil e benéfico quando comparado com os métodos tradicionais de monitorização de obra.

A fonte de objectos virtuais é a ligação da RA aos modelos BIM, sendo que estes deverão resultar directamente da fase de projecto. Podendo o projecto ser concebido em *software* BIM como, *AutoDesk Revit* © ou *Bentley* ©, a fonte de objectos virtuais deverá estar sempre garantida, e como representam exactamente o projecto, são a forma mais fidedigna para garantir a integridade da execução do mesmo.

Como referido anteriormente, o sector AEC está fortemente fragmentado, e a aplicação de um sistema deste tipo, necessita que haja colaboração também na fase do projecto, e que dessa colaboração resulte um modelo BIM com todas as especialidades desenhadas e diferenciadas.

A diferenciação dentro do modelo BIM por *layers* é evidente e fundamental, não só por motivos de organização, mas também pela funcionalidade de poder escolher quais os elementos que pretendem ser visualizados.

Transferindo esta funcionalidade através da RA, para o local da obra, é possível obter uma representação visual apenas da especialidade pretendida, podendo até serem definidos perfis (*roles*) para cada interveniente da obra, para que este apenas tenha acesso aos elementos necessários para a execução da sua tarefa.

Embora seja um campo ainda pouco explorado, os estudos feitos sobre o uso de RA aplicada ao BIM mostram-se bastantes favoráveis. Park e Kim (Park e Kim, 2012) efectuaram uma experiência para saber quais os efeitos da utilização de RA para detectar cenários de risco na construção. Os autores estão a desenvolver um sistema chamado *SMVS (Safety Management and Visualization System)*, que tem como objectivo identificar os riscos no modelo BIM e transportar a sua informação para obra com o uso de RA por forma a evitar os acidentes de trabalho. Por for-

ma a testar o sistema, criaram um jogo baseado num modelo BIM em que o utilizador é um *avatar* que se vai movimentando através do modelo, onde lhe vão surgindo situações potenciais de risco e a que ele deve responder com as medidas preventivas. Após a finalização do jogo, os utilizadores responderam a um questionário, sendo que os resultados estão apresentados no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 - Resultados do questionário sobre a utilização do SMVS (Park e Kim, 2012)

Avaliação média do SMVS*			
	Identificação do risco antes da execução de uma tarefa	Aumento da compreensão da informação	Comunicação em tempo real
Trabalhadores da Construção (9)	3.89	3.33	3.89
Técnicos de Segurança (11)	3.64	3.91	4.09
Gestores de Construção (6)	3.67	3.83	3.83
Posições de Decisão (5)	3.60	4.20	3.80

*Avaliação: 1=Inútil; 2=Ineficiente; 3=Normal; 4=Eficiente; 5=Altamente Eficiente;

Como pode comprovar-se pelos resultados, a avaliação média, independentemente do tipo de função, é bastante positiva.

(Clemente e Cachadinha, 2012) identificaram o BIM como base para a RA na abordagem a um caso de estudo. Durante as reuniões em obra, segundo os autores, a grande vantagem que se repetia durante as mesmas devido à utilização do BIM é a capacidade de visualização. “Todos os envolvidos no processo referiram que o facto de se poder visualizar o que vai ser feito, de várias perspectivas é uma grande ajuda. No terreno, o modelo foi utilizado como suporte de comunicação com os trabalhadores, utilizando-se este para retirar imagens 3D e realizar visitas virtuais à infra-estrutura, por forma a clarificar algumas partes mais complexas da mesma.”. Vários intervenientes neste caso de estudo descreveram as vantagens que perceberam com a utilização do modelo BIM:

- “O modelo foi como um mapa 3D do que não estava à vista durante o decorrer dos trabalhos”.
- “O modelo permitiu poupar tempo em obra, porque evitou erros e redundâncias nos trabalhos. Nós sabíamos exactamente os problemas com que nos iríamos confrontar, podendo assim evitar e agilizar alguns deles. Permite realmente poupar tempo.”

Como é referido anteriormente, os autores imprimiam as vistas 3D pretendidas sempre que necessário, ou faziam-se acompanhar do computador portátil para visualização *in loco*. Após o *feedback* obtido neste caso de estudo, foi aberta a porta à utilização da RA integrada no BIM, como ferramenta de visualização do projecto em obra.

2.4. Planeamento

Na construção civil, segundo (Laufer e Tucker, 1987) o planeamento é um processo de tomada de decisão realizado para antecipar uma desejada acção futura, utilizando para isso meios eficazes para concretizá-la. Os mesmos definem ainda três funções principais do planeamento:

- Auxiliar no cumprimento das funções primárias de execução, coordenação e monitorização;
- Coordenar e comunicar as diversas partes envolvidas na construção;
- Facilitar a tomada de decisões;

Os actuais métodos de planeamento raramente ajudam na tomada de decisões (Chen *et al.*, 2012). Métodos como o Método do Caminho Crítico (CPM) ou análises *PERT* (*Program Evaluation Review Technique*) têm por base o pressuposto de que os recursos de cada actividade são ilimitados, ou seja, o planeamento através destes métodos é apenas baseado no tempo de execução da actividade, e não toma em conta a disponibilidade dos recursos.

Este tipo de métodos minimiza o tempo de duração das actividades dos projectos, sendo que é um dos factores que dificulta bastante o cumprimento dos prazos de projecto, pois não prevê que haja recursos limitados ou mesmo inexistentes durante alguns períodos do projecto (Chelaka *et al.*, 2001).

Também (Chua *et al.*, 2013) identificaram o CPM e o PDM (*Predence Diagram Method*) como métodos que são incapazes de capturar restrições temporais complexas e de reproduzir as consequências que advêm dessas restrições. Deste modo, estas alterações temporais têm de ser adicionadas manualmente ao planeamento para que possa ser recalculado.

(WoodWorth e Shanahan, 1998) mostraram que estes métodos baseados apenas na duração das actividades excedem em média 38% do tempo previsto inicialmente.

2.4.1. Método do Caminho Crítico

O Método do Caminho Crítico, *Critical Path Method* (CPM), é uma técnica de modelação de planeamento desenvolvida por volta de 1950 por (Walker e Kelly, 1959).

Para utilizar este método é fundamental construir um modelo do projecto que inclua:

- Uma lista de todas as actividades necessárias para a elaboração do projecto, geralmente categorizadas numa Work Breakdown Structure (WBS);
- O tempo que cada actividade irá levar para ser cumprida;
- As dependências entre actividades;

WBS é uma hierarquização geralmente utilizada em gestão de projectos e engenharia de sistemas, que faz uma decomposição organizada do projecto em componentes mais pequenos, por

forma a identificar quais os elementos finais que devem ser terminados para que se consiga finalizar o projecto (Fleming e Koppelman, 1998).

Analisando todos os *inputs* necessários para construir o modelo do projecto, o CPM calcula o caminho mais longo, em termos de duração, que se pode percorrer respeitando as ligações das actividades planeadas, desde o início até ao fim do projecto, designado por caminho crítico, bem como os possíveis tempos de início e de fim das actividades sem que estas atrasem o projecto, sendo elas:

- *Early Start* – A data mais cedo possível em que a actividade pode começar;
- *Latest Start* – A data mais tarde possível em que a actividade pode começar sem que atrase o planeamento;
- *Early Finish* – A data mais cedo possível em que a actividade pode acabar;
- *Latest Finish* – A data mais tarde possível em que a actividade pode acabar sem que atrase o planeamento;

Através do cálculo da rede progressivo e, seguidamente, regressivo, este processo determina qual o caminho crítico, no qual qualquer atraso na execução de uma actividade se irá repercutir no tempo total de duração do projecto. Determina também qual a capacidade que as actividades não críticas têm de se atrasar ou adiantar no planeamento sem que atrasem a duração total do mesmo, chamada de flutuação (*float*).

As actividades que se encontram no caminho crítico têm um *Early Start* igual ao *Latest Start* e um *Early Finish* igual ao *Latest Finish*, ou seja, não têm flutuação, razão pela qual qualquer atraso nesta sequência de actividades representa um atraso na duração total do projecto (O'Brien, 1993).

A representação do modelo do CPM pode ser feita através de dois tipos de diagramas, sendo eles, o diagrama de actividades nos nós presente na Figura 2.17, ou pela forma mais usual através de um diagrama de Gantt presente na Figura 2.18, desenvolvido por Henry Gantt na década de 1910.

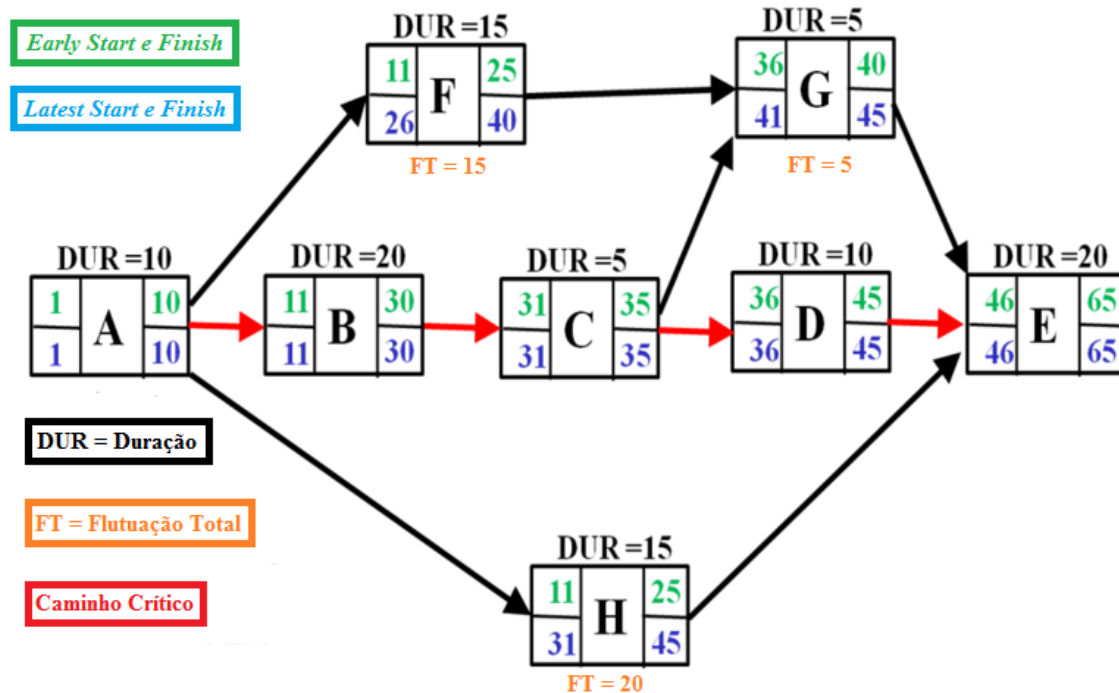


Figura 2.17 – Diagrama de Actividades no nó

No CPM existem relações entre actividades, por forma a definir um caminho lógico de sequencialidade. Existem três tipos de ligações entre actividades (Mosaic, 2013):

- *Start-to-Start* – A actividade seguinte só começa quando a anterior começar;
- *Finish-to-Start* – A actividade seguinte só começa quando a anterior acabar;
- *Finish-to-Finish* – A actividade seguinte só acaba quando a anterior acabar;

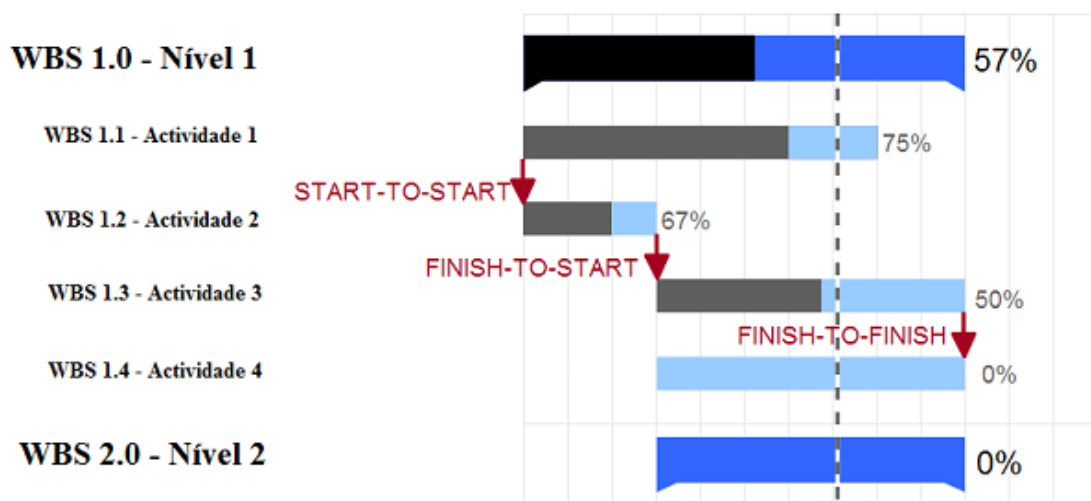


Figura 2.18 – Diagrama de Gantt com as respectivas ligações entre actividades

Ainda que Birrell (Birrell, 1980) tenha criticado a utilização do CPM na indústria da construção, alegando que era um método que não espelhava as verdadeiras necessidades do sector, o CPM está fortemente implementado e é utilizado como ferramenta para criar e avaliar diferentes planeamentos que sejam viáveis e cumpram os prazos do projecto (O'Brien, 1993).

Apesar disso o CPM tem bastantes limitações no que toca à sua aplicação, pois é um método que não permite aos projectistas definir mais parâmetros que não o tempo e relações entre actividades. Esta limitação, além de ser mais propícia a originar erros e atrasos, torna mais difícil desenvolver um método que seja alternativa ao CPM, mas que tenha os seus conceitos por base, visto este método ter provas dadas no sector da construção há mais de quarenta anos (Koo *et al.*, 2007).

Este método de planeamento tem pontos de conflito com o sector da construção, pois assenta numa filosofia *push*, ou seja, o seu planeamento é feito e imposto em obra, independentemente na situação actual da mesma. Esta inflexibilidade associada ao CPM é identificada por vários autores como um dos principais defeitos. Devido a esta inflexibilidade, a possibilidade de começarem a ser executadas actividades que ainda não tenham reunido todas as condições para o seu começo é real e frequente.

(Koskela, 2004) identificou o *making do* como uma das principais fontes de desperdício específicas do sector da construção, definindo-o como actividades que começaram sem que todos os seus *inputs* iniciais estivessem assegurados, tais como, materiais, maquinaria, ferramentas, mão-de-obra, etc..

Sendo o CPM um método de planeamento *push*, é inevitável que a ele esteja associado o *making do*, pois a imposição do planeamento em obra, sem ser tida em conta a situação *as-built*, irá provocar conflitos entre actividades e gerar atrasos.

2.4.2. PERT

O método PERT foi desenvolvido pela marinha americana, especificamente pela *U.S. Navy Special Projects Office* em 1957, com o intuito de auxiliar o projecto de submarinos nucleares *Polaris*, sendo que este projecto foi concluído com dois anos de antecedência relativamente ao prazo estipulado.

Tal como no CPM, o PERT utilizada uma rede de ligações entre actividades por forma a definir o projecto e identificar o caminho crítico. No entanto, ao contrário do CPM, que usa durações determinísticas para as actividades, o PERT admite incerteza nos tempos de duração das actividades, pelo que é baseado numa média ponderada entre três durações estocásticas para uma actividade (Seidenthal, 1978):

- Duração Optimista (O) – a duração mínima possível necessária para completar uma actividade, sabendo que as anteriores correram melhor do que o esperado;

- Duração Pessimista (P) – a duração máxima possível necessária para completar uma actividade, sabendo que as anteriores correram pior do que o esperado (excluindo catástrofes);
- Duração Provável (M) – a melhor estimativa do tempo necessário para completar uma actividade, sabendo que as anteriores correram normalmente;

Os criadores do PERT basearam-se numa distribuição Beta, Figura 2.19, pois é uni modal, apresenta extremos não negativos e não é necessariamente simétrica.

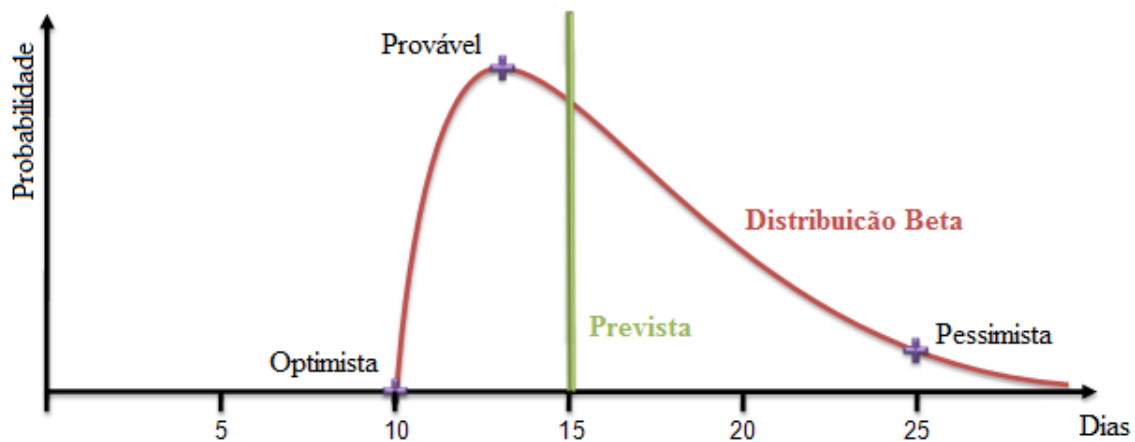


Figura 2.19 – Distribuição Beta do PERT, adaptado de (Lehmann, 2005)

Com base nesta distribuição e nas durações descritas anteriormente, foram estabelecidos os pressupostos para chegar a um valor provável de duração de actividade:

- A duração Optimista e Pessimista têm a mesma probabilidade de acontecer;
- A duração Provável tem quatro vezes mais probabilidade de acontecer do que as outras duas.
- Duração Prevista (T_e) – a melhor estimativa do tempo necessário para completar uma actividade, sabendo que de facto as coisas não correm sempre como o previsto.

$$T_e = \frac{O + 4M + P}{6}$$

Equação 2.1 – Duração estimada pelo método PERT

O PERT utiliza uma rede de actividades muito parecida ao CPM, sendo que a sua maior diferença é no cálculo da duração das actividades, pois o PERT admite uma duração com base probabilística. Como pode verificar-se na Figura 2.20, a sua representação gráfica também incorpora os conceitos de *Early Start* e *Late Start*, presentes no CPM.

No entanto, a utilização de PERT pode trazer um inconveniente relacionado com o caminho crítico. Como a duração das actividades é uma estimativa, existe sempre uma probabilidade

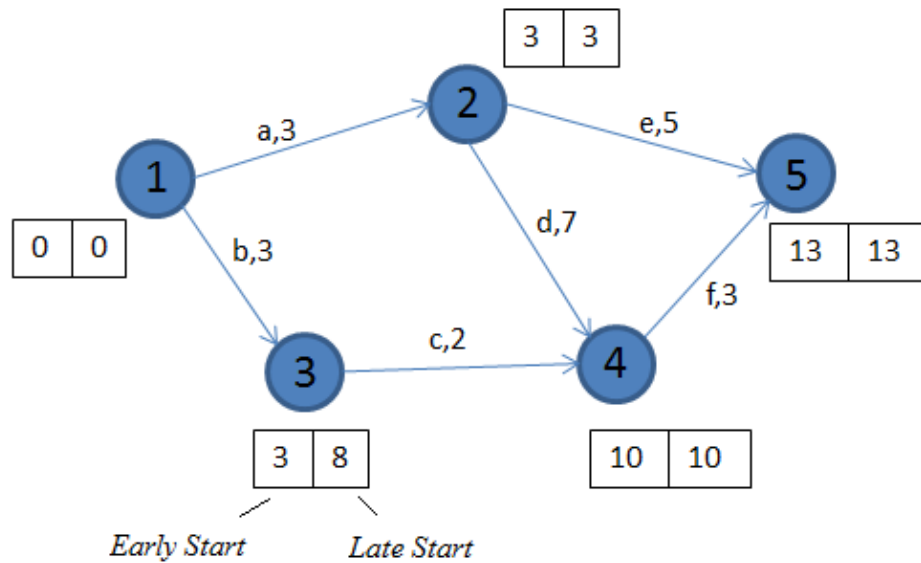


Figura 2.20 – Rede PERT

de elas se atrasarem ou adiantarem, pelo que o caminho crítico identificado no início do planeamento pode não ser o caminho crítico final.

2.4.3. *Lean e Last Planner System*

Foram vários os estudos que apontaram na necessidade de obter informação proveniente da obra como um *input* essencial para uma nova estratégia de planeamento que aumentasse significativamente a eficiência do sector AEC. A filosofia *Lean*, definida por (Koskela *et al.*, 2002) como “uma estratégia de produção que minimize o desperdício, o tempo e o esforço de modo a gerar o máximo valor possível”, está na base da criação de um novo método de planeamento proposto por Ballard chamado *The Last Planner System* (LPS) (Ballard, 2000).

De acordo com a *Lean Construction Institute* (LCI), a taxa de desperdício na indústria da manufactura, onde o *Lean* está fortemente implementado, é de 7%, enquanto na construção ronda os 57% (LCI, 2013).

O planeamento LPS, baseado na filosofia *Lean*, assenta em 5 princípios fundamentais:

- Valor Específico
- Fluxo de Valor
- Fluxo de Trabalho
- *Pull*
- Perfeição

O processo de planeamento LPS começa com a definição do valor específico, ou seja, identificar qual o valor de cada actividade e qual o valor que essa actividade vai adicionar ao produto final.

Após identificado o valor específico do produto, devem ser analisados os processos e serem eliminadas todas as tarefas que não adicionem valor ao produto final.

O fluxo de trabalho deverá ser garantido assegurando que os fornecedores dos materiais necessários não se atrasam na sua entrega.

Pull define-se como a acção de entender exactamente o que é necessário produzir e em que altura, por forma a reduzir produção desnecessária.

A perfeição refere-se ao facto da filosofia *Lean* tentar encontrar sempre a solução ideal e uma melhoria contínua. Por forma a consegui-lo tem de existir uma grande comunicação entre todos os intervenientes do projecto, desde o cliente até ao trabalhador (Aziz e Hafez, 2013).

Este novo método de planeamento, alternativo ao CPM, reduz significativamente desperdícios associados à Construção, em particular o *Making Do*, pois a fase *pull* consiste em juntar os executantes das tarefas e perceber junto deles o conjunto de actividades que efectivamente podem começar sem constrangimentos, adequando o planeamento à situação actual da obra.

Neste método de planeamento foi definido um parâmetro para medir o cumprimento dos objetivos definidos semana a semana, chamado *Percent of Plan Complete* (PPC). Este indicador compara o número total de actividades previstas acabar para a semana de trabalho com o número de actividades que efectivamente foram concluídas:

$$PPC = \frac{\text{Número de actividades completas}}{\text{Número previsto de actividades completas}} * 100$$

Equação 2.2 – Método de cálculo do PPC

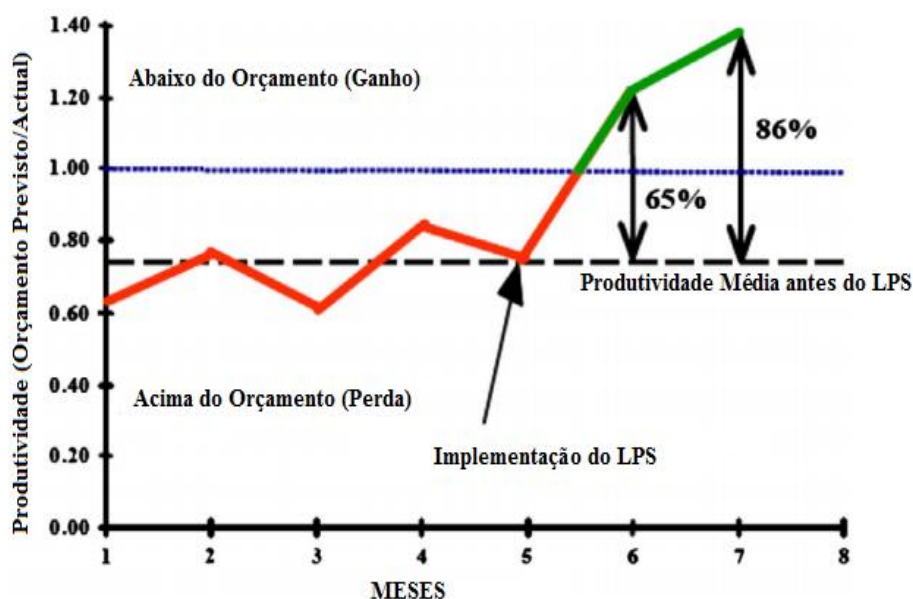


Figura 2.21 - Diferenças de Produtividade após implementação do LPS (Alarcon, 2001)

(Alarcon, 2001) foi dos primeiros autores a implementar o LPS na execução de um projecto de construção, obtendo resultados bastante esclarecedores sobre os benefícios que este método de planeamento podem resultar. Para tal, este autor analisou a evolução da obra em função da produtividade, antes e depois da aplicação do LPS (Figura 2.21).

Apesar de os potenciais benefícios que poderiam advir de uma sólida implementação *Lean* e LPS no sector AEC, a predominância do CPM é ainda bastante evidente. Deste modo seria desejável conciliar os benefícios do LPS com o CPM.

Como dito anteriormente, um dos principais problemas associados ao CPM é o *Making Do*, no entanto o LPS foi desenvolvido com o intuito de reduzir ao máximo todos os desperdícios, pelo que incorporar no CPM soluções de métodos alternativos de planeamento como o LPS, que colmatam as limitações identificadas, pode ser uma solução bastante interessante e eficaz por forma a aumentar a eficiência da construção e a execução mais rigorosa do planeamento.

2.4.4. Planeamento 4D

O planeamento 4D foi proposto pela primeira vez por investigadores do CIFE, *Center for Integrated Facility Engineering* na Universidade de Stanford. Estes anexaram a modelos 3D informação sobre o planeamento dos elementos 3D, tornando possível analisar a evolução do mesmo num ambiente 3D (McKinney *et al.*, 1996).

O planeamento 4D baseia-se na inserção de uma linha temporal numa representação gráfica 3D do projecto. Esta ligação gera um modelo 4D, permitindo aumentar a percepção do utilizador relativamente ao planeamento previsto. Devido à complexidade dos projectos actuais, é importante que o planeamento esteja associado a um modelo 3D.

(Koo e Fischer, 2000) afirmaram que, para criar um planeamento, os responsáveis pelo mesmo devem ter em consideração uma quantidade imensa de informações relevantes para o projecto. Tendo em vista as necessidades, os autores foram pioneiros no desenvolvimento deste tipo de planeamento.

Os modelos 4D melhoram a confiabilidade do planeamento antes da construção, pois permitem um aperfeiçoamento na distribuição das actividades auxiliado por informação visual (Hartmann *et al.*, 2008).

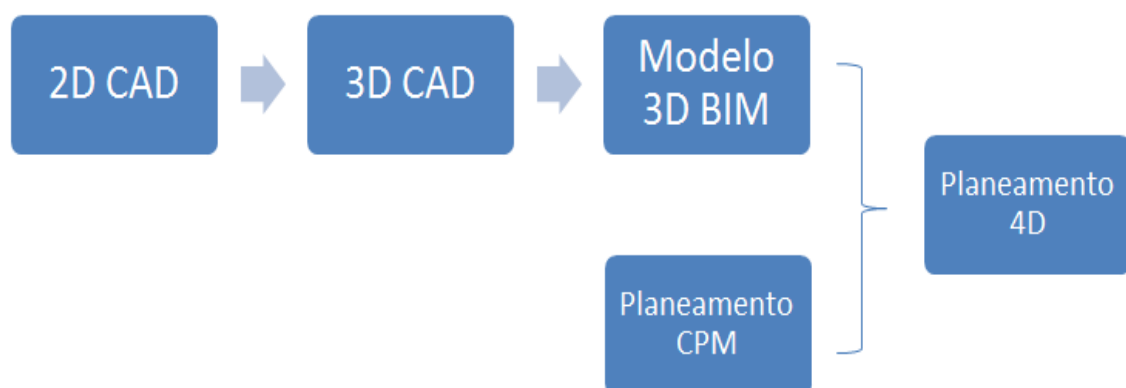


Figura 2.22 – Processo de criação de um planeamento 4D adaptado de (Basu, 2007)

O planeamento 4D tem a característica de poder detectar previamente conflitos espaço-tempo. Esta vertente permite que os responsáveis pelo planeamento possam gerar simulações virtuais do processo de construção, podendo identificar constrangimentos antes mesmo de estes acontecerem (Wang *et al.*, 2004). Ao programar o modelo 3D juntamente com o planeamento, o utilizador pode mover-se virtualmente pelo modelo, tendo diferentes perspectivas dos elementos a construir e assim verificar se a sequência de actividades prevista é lógica e exequível (Basu, 2007).

O planeamento 4D ajuda também na prevenção do *making do*, pois se a cada actividade corresponderem um ou mais elementos 3D do projecto BIM, será bastante mais fácil evitá-lo, já que o utilizador terá uma percepção visual 3D do andamento do planeamento.

A visualização do modelo 3D permite diminuir as diferenças de interpretação do planeamento, ao mesmo tempo que reduz os problemas de comunicação devido à riqueza da informação visual disponível (Koo e Fischer, 2000).

Também (Jongeling e Olofsson, 2007) reforçaram esta ideia, explicando que o modelo 4D oferece ao utilizador uma imagem clara e directa do planeamento e ajuda a comunicar de forma rápida e inequívoca esse planeamento às diferentes partes envolvidas na execução do projecto.

A Figura 2.23 esquematiza a ligação do planeamento ao modelo 3D BIM.

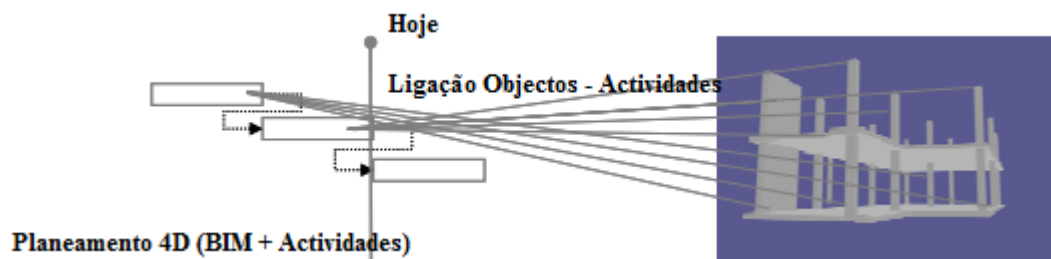


Figura 2.23 – Ligação dos elementos 3D do projecto BIM às actividades correspondentes (Golparvar-Fard *et al.*, 2009)

2.4.5. Actualização do Planeamento

A actualização do planeamento é um processo que pretende dotar os responsáveis por uma obra de informação correcta e actual sobre o progresso da mesma.

Segundo (Nunes, 2010) a execução de um planeamento fiável e de um sistema de controlo de produção eficaz conduzem sempre a um cumprimento dos prazos.

A escolha da periodicidade para a actualização do planeamento é uma tarefa essencial em qualquer projecto de construção e deve ser analisada com bastante atenção pois terá repercussões no decurso da obra (Yang e Kao, 2012).

A indústria da construção, quando comparada com outras, tem mais factores imprevisíveis que podem condicionar a execução e acompanhamento do planeamento, tais como as condições meteorológicas ou a produtividade (Liu e Shih, 2009).

Para que seja feita uma boa actualização do planeamento é necessário que sejam efectuadas quatro tarefas (Joh *et al.*, 2001):

- Comparar *as-planned* com *as-built*
- Identificar todos os atrasos
- Identificar quem ou o que provocou o atraso
- Actualizar o planeamento de acordo com o *as-built*

De acordo com (Navon e Goldschmidt, 2002), a informação em tempo real do progresso da construção é essencial para identificar discrepâncias entre o *as-planned* e o *as-built*. Quanto mais tempo estas discrepâncias levarem a ser identificadas, mais complexas e caras serão as medidas correctivas.

No LPS, existe o conceito de *Percent of Plan Completed* (PPC) que é a razão entre as actividades efectivamente completadas e as actividades planeadas. Este indicador deve ser calculado todas as semanas por forma a medir o cumprimento dos objetivos definidos semana a semana, e o resultante progresso da obra.

No entanto, a grande maioria das empresas de construção utiliza o CPM como método de planeamento e fazem actualizações mensais do mesmo (LLC, 2010).

Segundo (Ahuja e Dozzi, 1994) frequência de recolha de informação deve ser tanto maior quanto maior for a complexidade do projecto em questão. Para projectos de complexidade menor, os autores inferem que uma periodicidade de recolha de informação mensal poderá ser suficiente, ressaltando casos especiais como estruturas militares, que podem requerer actualização diária.

Na mesma linha de pensamento, também (DeHeredia, 1985) aconselha como regra geral a actualização da informação *as-built* a periodicidade mensal.

A periodicidade para a recolha de dados deve ser definida para cada projecto após a avaliação dos seus requisitos próprios, em função da sua complexidade, dimensão e organização (Paulo, 1997).

(Santana, 1988) propôs uma regra de actualização do planeamento baseada na duração final da empreitada com base nos intervalos temporais apresentados no Quadro 2.4.

Quadro 2.4 – Periodicidade de recolha de informação proposta por (Santana, 1988)

Duração do Projecto	Periodicidade de recolha de informação
Inferior 3 meses	Semanal
Entre 3 meses e 1 ano	Quinzenal
Superior a 1 ano	Mensal

(Pilar, 2009) realizou um estudo sobre a prática da gestão de projectos na gestão de obras em empresas de construção. Para tal, o autor realizou um inquérito a 40 empresas portuguesas de construção de média e grande dimensão, destinado aos directores Técnicos/Produção/Obra. Na Figura 2.24 apresentam-se os resultados à pergunta “Com que frequência é verificado o cumprimento do plano de trabalho?”.

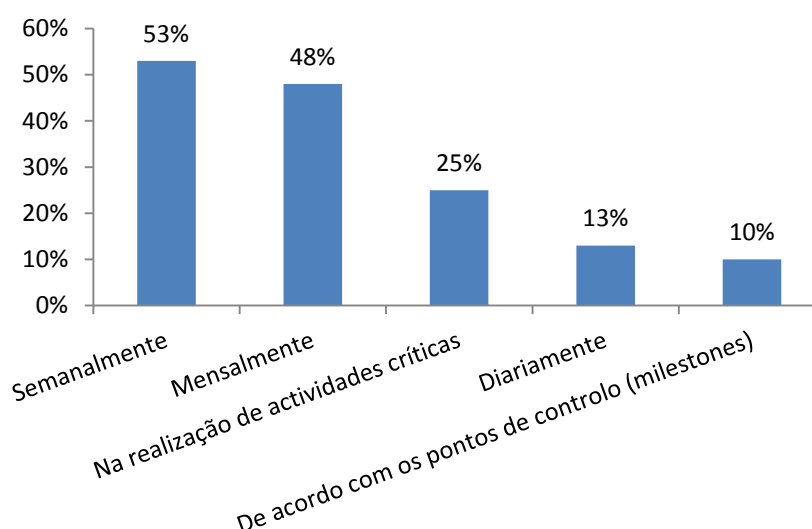


Figura 2.24 – Resultados sobre a periodicidade adoptada pelas empresas de construção civil (Pilar, 2009)

Pode verificar-se que, na amostra de empresas recolhida pelo autor, a percentagem de empresas que faz uma actualização mensal do planeamento está muito próxima da percentagem de empresas que faz uma actualização semanal do planeamento, o que de acordo com (Reis, 2008) é periodicidade aceitável.

Segundo (Paulo, 1997) “A experiência de vários projectos realizados aconselha-nos a não utilizar periodicidades de controlo superiores a duas semanas, independentemente da duração do projecto, de modo a permitir em tempo útil recorrer a acções correctivas, que permitam a recuperação de eventuais atrasos.”

De acordo com o nº1 do artigo 388º do Decreto-Lei nº. 149/2012 de 12 de Julho, vulgo Código dos Contratos Públicos (CCP):

“Na falta de estipulação contratual, a medição de todos os trabalhos é efectuada mensalmente, devendo estar concluída até ao 8.º dia do mês imediatamente seguinte àquela a que respeita.”

Apesar de ser um processo fundamental para um melhor acompanhamento da construção, não existe consenso nem regras para qual deve ser a frequência da recolha de informação *as-built*. Esta indefinição sobre regras de actualização do planeamento prende-se maioritariamente com três factores:

- A diversidade e complexidade de empreitadas;
- Relutância do sector AEC em aceitar novos métodos de planeamento;
- A falta de cooperação entre empreiteiro e subempreiteiros;

3. METODOLOGIA

3.1. Ferramenta de investigação

Optou-se por desenvolver um modelo conceptual. O desenvolvimento deste modelo conceptual assenta numa metodologia SSADM (*Structured Systems Analysis and Design Methodology*). Esta metodologia é utilizada para desenvolver sistemas de uma forma estruturada, passando por 7 fases de desenvolvimento. Permite cortar o sistema inicial em sistemas mais pequenos, de modo a facilitar a ordem e a interligação entre eles (Manteghi e Jahromi, 2012). Esta metodologia assenta em 7 fases distintas que visam estruturar o sistema de uma forma lógica (Schumacher, 2002):

- Fase 0 – Estudo de viabilidade
- Fase 1 – Revisão tecnológica
- Fase 2 – Desenho do sistema
- Fase 3 – Especificação do sistema
- Fase 4 – Opções técnicas do sistema
- Fase 5 – Desenho lógico
- Fase 6 – Desenho físico

A presente metodologia foi considerada a mais adequada, pois é usada no desenvolvimento conceptual de aplicações informáticas, de uma forma estruturada e simples. É uma metodologia que combina o uso de texto e diagramas desde a fase 0 até à fase 6, tornando mais fácil o entendimento do modelo que se está a desenvolver. Não permite que se passe para a fase seguinte, sem que a anterior esteja completa, o que reduz significativamente a ocorrência de erros, por isso é considerada uma metodologia em cascata (Officer, 2012).

3.2. Metodologia do Estudo

▪ Fase 0 – Estudo de viabilidade

Nesta fase será feita uma pesquisa sobre quais as necessidades existentes no sector AEC, as possibilidades de implementação de um sistema de RA aliada ao BIM e as vantagens da sua aplicação.

▪ Fase 1 - Revisão Tecnológica

A revisão tecnológica é uma etapa fundamental para o seguimento desta metodologia. Nesta fase serão detectados, com fundamentação numa revisão bibliográfica:

- Operações de outros sistemas de acompanhamento de obra que se considerem fundamentais para o novo sistema;
- Erros e métodos inefficientes de outros sistemas de acompanhamento de obra por forma a serem corrigidos;

A fase 0 e 1 da metodologia estão presentes nos capítulos 1 e 2.

▪ Fase 2 - Desenho do sistema

A fase 2 é a fase onde o sistema é concebido. Utilizando a informação obtida nas fases anteriores será feita uma análise sobre como o sistema deve ser abordado, tendo uma abordagem maioritariamente narrativa. Nesta fase será proposta uma plataforma que ligará os modelos BIM, ao planeamento e ao mapa de quantidade, através da qual, com recurso a RA, se conseguirá medir o progresso de obra, actualizar o planeamento e obter custos e materiais utilizados. Esta fase da metodologia encontra-se no subcapítulo 4.1.

▪ Fase 3 – Especificação de Requisitos

Nesta fase o modelo será desenvolvido com base nos requisitos identificados na fase 1, e não deverá conter erros, ambiguidades ou inconsistências. Será desenvolvido um modelo lógico, que, nesta fase, não necessitará de explicação de como deve ser implementado, mas sim como este deve funcionar. Para isso serão criadas relações lógicas entre sistemas, actividades e *output's*.

De modo a criar as relações lógicas serão feitos *DFD's (Data-Flow Diagrams)* que irão definir os processos necessários para a análise da informação recolhida. Serão desenvolvidas nesta fase todas as ligações lógicas que o modelo terá entre os modelos BIM, articulado e planeamento, por modo a obter os *outputs* requeridos. Esta fase da metodologia encontra-se nos subcapítulos 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7

▪ Fase 4 – Opções técnicas do sistema

É nesta fase que será definido como o modelo deverá ser implementado, quais os requisitos para que o sistema funcione sem falhas, as suas limitações e como deverá ser a sua interacção com o utilizador, sendo que esta análise é feita no capítulo 5.

▪ Fase 5 – Desenho lógico

A fase do desenho lógico é direccionada para a interacção com o utilizador. Trata de criar as estruturas dos menus, dos comandos, bem como as janelas de interface de utilização do sistema.

- **Fase 6 – Desenho Físico**

Última fase da metodologia, que encerra o ciclo do processo SSADM. Nesta fase será testado o sistema criado, criados manuais de utilização e requisitos para a sua utilização.

A presente dissertação foca-se nas fases 1 a 4. As fases 5 e 6 obrigariam a um esforço de desenvolvimento prolongado de código informático e programação, estando por isso fora do âmbito desta dissertação.

4. PROPOSTA DE MODELO

4.1. Plataforma

A plataforma proposta visa ligar o articulado de uma obra a um modelo BIM da mesma, e com recurso a RA medir o progresso e fazer uma actualização do planeamento e do custo até à data.

A base da plataforma será o modelo 3D BIM. A ligação do articulado ao modelo BIM será o primeiro passo, pois todo o fluxo de informação terá por base esta ligação. Este passo permite dotar os objectos BIM de informação relativa à sua execução, de acordo com o mapa de quantidades. A cada objecto BIM deve corresponder uma ou mais actividades do planeamento, ou vice-versa, por forma a definir a sua ordem temporal de construção.

Toda esta informação será incorporada numa base de dados “as-planned”. Por forma a comparar o *as-built* com o *as-planned*, será feita uma recolha de informação com recurso à RA, e daí resultará um valor de progresso da actividade, que associado ao articulado, dará como *outputs* os custos, o progresso e actualização do planeamento. No caso de a plataforma detectar um atraso ou um avanço no planeamento, este será actualizado automaticamente, por forma a que retrate exactamente o progresso da obra. Esta actualização é bastante importante, pois permite que haja maior controle sobre actividades atrasadas e impede o começo de outras actividades que requeiram que a anterior esteja completa. Na Figura 4.1 é mostrada a arquitectura da plataforma proposta.

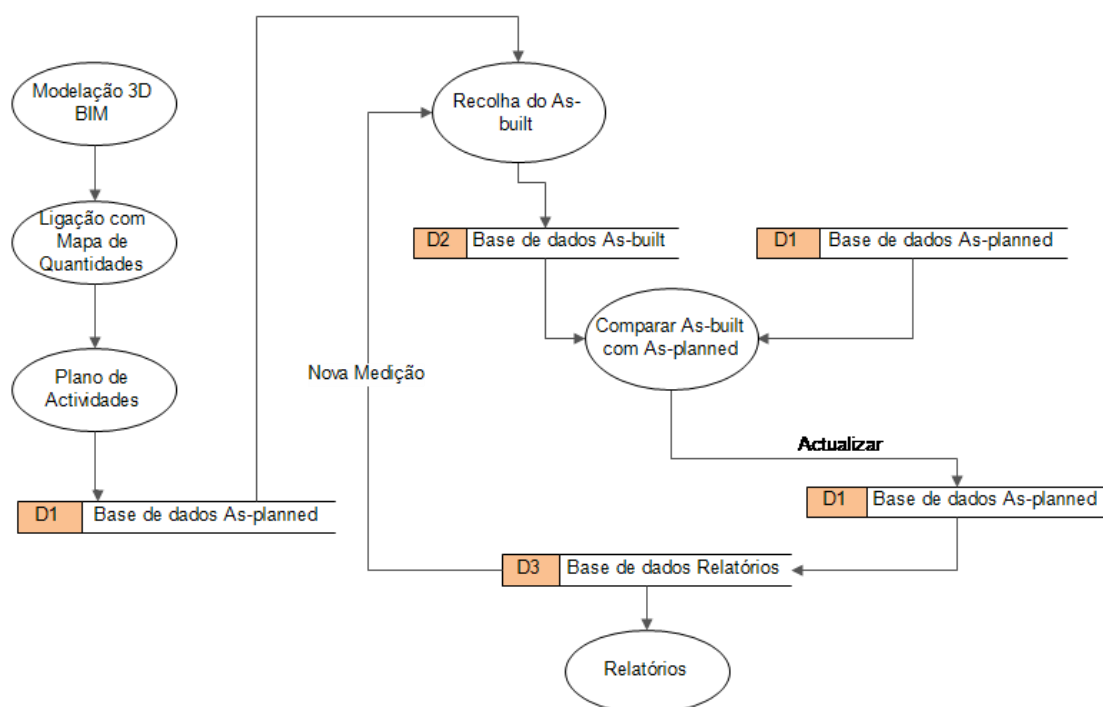


Figura 4.1 – Arquitectura da Plataforma

A presente dissertação procurou desenvolver a base da plataforma, a sua organização, ligações funcionais e ajuste automático de planeamento em função da informação *as-built*. Ainda que seja proposto e aberto caminho para o controle de custos e autos de medição, esta dissertação focou-se grandemente no planeamento, deixando os restantes para futuros desenvolvimentos.

4.2. Modelação BIM, Mapa de Quantidades e Plano de Actividades

A plataforma proposta prevê como primeiros *input's* o projecto BIM 3D, o mapa de quantidades e o plano de actividades. Estas três peças são fundamentais para o entendimento e acompanhamento de qualquer obra.

A sequência lógica para o desenvolvimento de um método de trabalho baseado nesta plataforma, começará com a elaboração do projecto em BIM. A versatilidade do BIM permite que o projecto possa ser visto através de vários filtros, limitando a visualização de informação ao estritamente necessário.

Como esta plataforma terá como objectivo final conseguir acompanhar o progresso da obra, é necessário que na fase de modelação tal seja tido em conta e que seja feita uma WBS o mais detalhada possível, ou seja, criar tantos filtros e parâmetros quantos os necessários para se conseguir identificar qualquer objecto sem dúvidas.

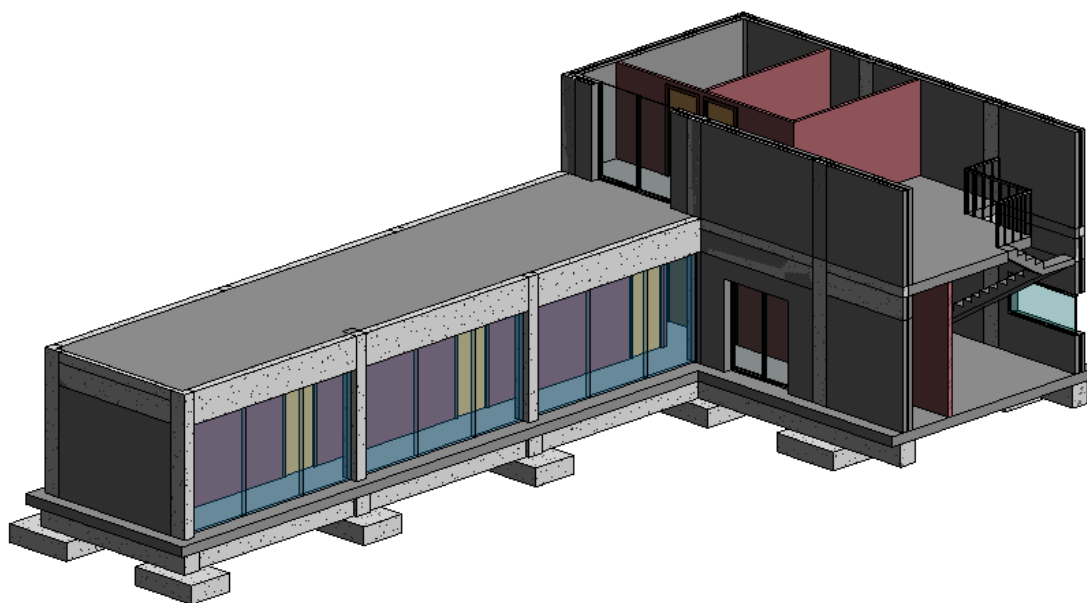


Figura 4.2 – Exemplo de um modelo 3D BIM

Por forma a tornar a importação e visualização um processo leve para os aparelhos, apenas se deverão importar os elementos que irão ser analisados, sendo que nesta situação os filtros desempenham um papel importante, pois conseguem apenas mostrar o que realmente é necessário. Por exemplo, se o utilizador for medir o progresso da super-estrutura, apenas deverá importar para o dispositivo o filtro correspondente à “Estrutura”, deixando de lado os restantes.

Todos os elementos a construir devem estar presentes no modelo 3D BIM, bem como todas as especialidades, tais como, AVAC, rede eléctrica, rede de águas e esgotos, etc..

É importante que haja este tipo de trabalho de integração, e que este seja feito de forma colaborativa. Numa fase de pré-construção, isso ajuda na localização de conflito de elementos. Em situações de projecto normais, esta informação viria em documentos diferentes, o que tornaria a sua identificação bastante mais difícil de realizar.

É também importante que os objectos presentes no modelo 3D BIM correspondam aos que irão ser efectivamente utilizados na execução do projecto. Como o progresso irá ser calculado com base numa comparação visual entre o construído e o planeado (modelo 3D BIM), é importante que não existam discrepâncias entre o que o utilizador está a ver no modelo e na realidade.

Durante o processo de definição, dimensionamento e projecto, deve ser consultado em paralelo o mapa de quantidades, pois é um elemento que fornece informação fundamental, principalmente porque a modelação em BIM contém informação sobre os materiais a utilizar. Visto que os modelos BIM são constituídos por objectos parametrizados, é possível descrever qualquer objecto em termos de materiais e custo, criando para isso, parâmetros específicos.

Sendo assim, durante a fase de projecto, todos os objectos devem ter três parâmetros com informação retirada do mapa de quantidades: Material, Quantidade e Custo. No fim deste processo será possível identificar em qualquer objecto, quais os materiais que o compõem, quantidades necessárias, custo unitário e final dos objectos. Este processo não requer necessariamente que haja uma ligação concreta entre os objectos e a linha de articulado correspondente, mas sim que o objecto contenha os três parâmetros estipulados anteriormente por forma a complementar a informação do modelo.

O último *input* da fase inicial desta plataforma é o plano de actividades. Como parte integrante de qualquer projecto, o plano de actividades define a ordem de execução das mesmas e quais as relações entre elas, geralmente apresentado na forma de diagramas de Gantt.

Artigo	Descrição	Quantidade	Un.	Valor Unitário	Valor
2.1	Execução de Sapatas Isoladas em betão armado C20/25 e armaduras em aço A400ER, conforme as peças desenhadas.	6	un	235,75 €	1 414,50 €
2.2	Idem ao item 2.1, em sapatas contínuas.	4	un	312,45 €	1 249,80 €
2.3	Execução de Pilares em betão armado C20/25 e armaduras em aço A400ER, conforme as peças desenhadas.	8	un	363,25 €	2 906,00 €
2.4	Execução de laje aligeirada, incluindo cofragem, escoramento e descofragem de acordo com o projecto da especialidade.	24	m2	122,52 €	2 940,48 €

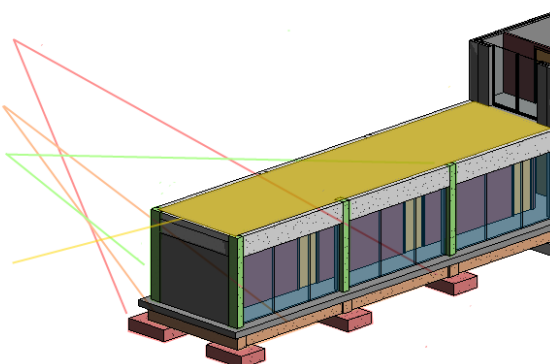


Figura 4.3 – Esquemática da integração do mapa de quantidades com o modelo 3D BIM

Sendo que uma das funcionalidades proposta para a plataforma é o acompanhamento do progresso de obra, é necessário que seja fornecida a informação sobre a duração das actividades e

quais as suas precedências. Assim a cada actividade irá corresponder um ou mais objectos e desta forma são criados mais seis parâmetros fundamentais para esta plataforma, sendo eles, Data de Início, Progresso, Data de Fim, ID da Actividade, Actividades Predecessoras e Actividades Sucessoras. Com apenas estes quatro parâmetros é possível acompanhar o progresso do plano de actividades.

Sendo possível também ligar um objecto a duas ou mais actividades, pois no processo de recolha do progresso, a ligação do objecto à actividade apenas fornece a geometria para visualização e recolha de progresso, sendo que a informação do que constitui aquele objecto está presente na actividade.

Este processo de *input* de informação para a plataforma poderá ser algo moroso, no entanto não representa encargos adicionais significativos, pois o mapa de quantidades e o plano de actividades são peças obrigatórias no projecto, sendo o modelo 3D BIM a única peça não obrigatória, por enquanto.

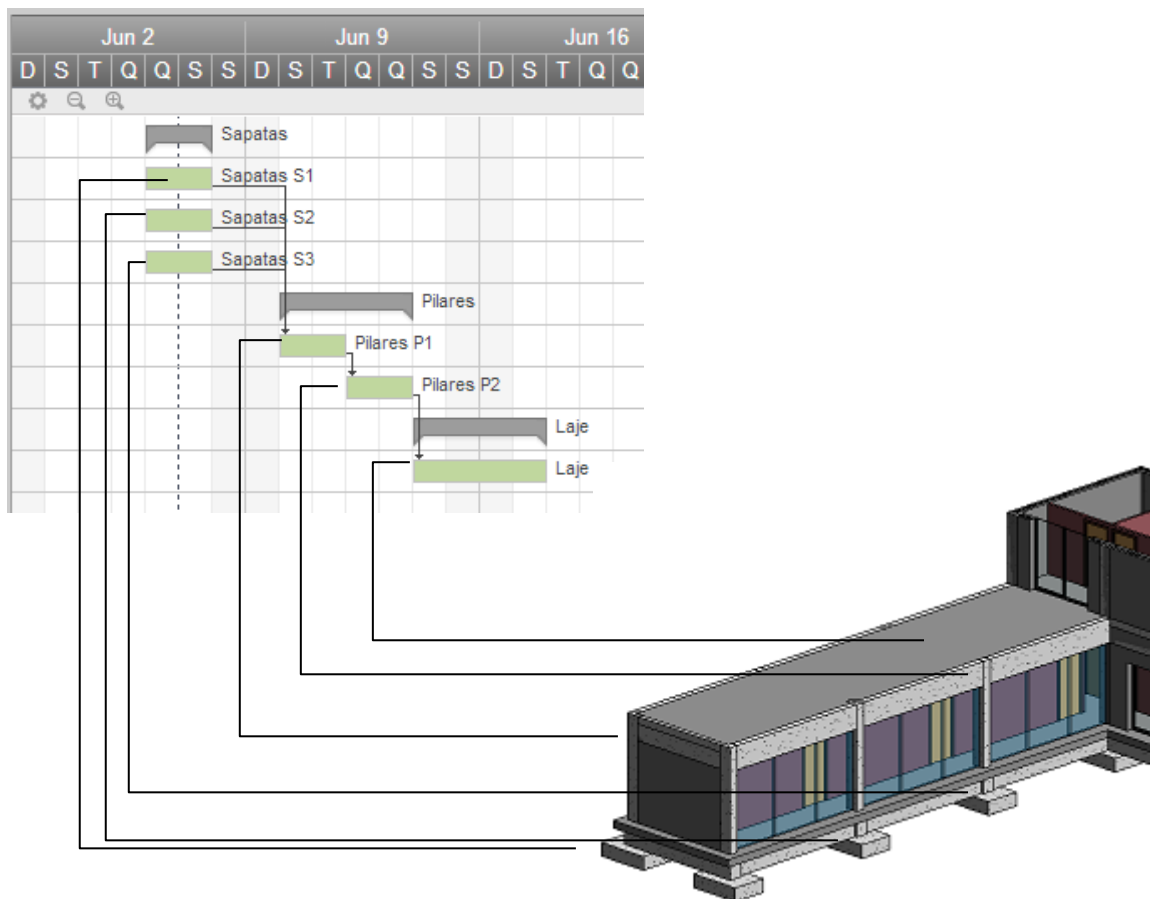


Figura 4.4 – Esquematização da ligação das actividades aos elementos do modelo 3D BIM

4.3. Base de dados “As-planned”

Devido à quantidade de informação necessária para que a plataforma desempenhe as funções que são propostas, é necessário criar uma base de dados que organize a informação proveniente do modelo 3D BIM, mapa de quantidades e plano de actividades.

A base de dados “As-planned” terá uma estrutura semelhante ao modelo BIM, dividida por níveis (pisos), especialidades e elementos, como se pode ver na Figura 4.5. Esta divisão deve-se ao facto das soluções comerciais optarem por esta organização, sendo que o primeiro nível de detalhe são *levels*, que geralmente são os pisos. Cada *level* tem especialidades e os objectos correspondentes a cada uma que irão ser construídas no mesmo piso, facilitando assim a visualização durante a fase de projecto.

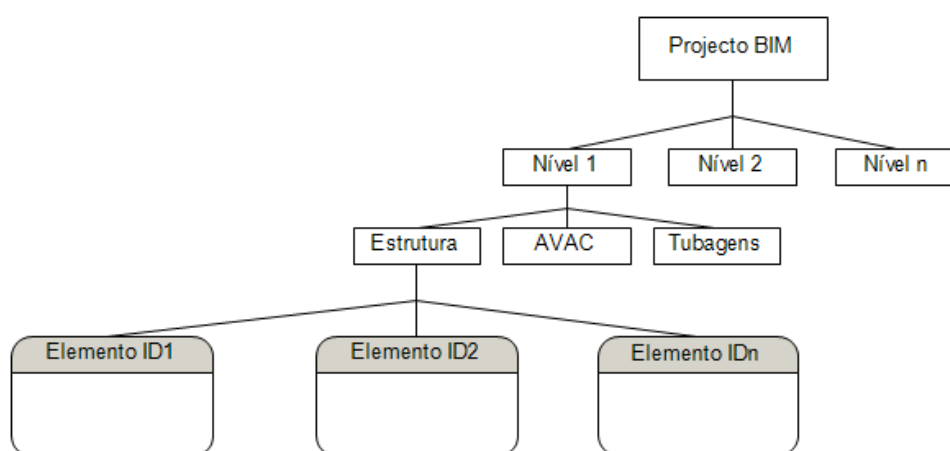


Figura 4.5 – Arquitectura da base de dados “As-planned”

Através desta organização, será possível condensar num só elemento nove parâmetros fundamentais que permitem a sua descrição total em termos de progresso, custo e planeamento, como se pode ver na Figura 4.6.

Como foi referido anteriormente, os três primeiros parâmetros advêm da informação contida no mapa de quantidades, enquanto os seis finais provêm do plano de actividades.

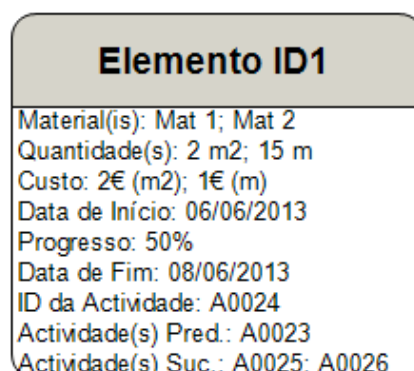


Figura 4.6 – Nove parâmetros de qualquer elemento presente no projecto

A inclusão do parâmetro “Progresso” no elemento é necessária para que se consiga definir qual o estado de desenvolvimento do mesmo, pois esta plataforma aponta para um planeamento dinâmico e que requer sempre um *input* proveniente do local de construção. No início de cada projecto, obviamente, o progresso de qualquer elemento será de 0%. Mais à frente no subcapítulo 4.6, este processo será explicado mais aprofundadamente.

4.4. Recolha do *As-built* e Base de dados “As-built”

A plataforma proposta visa uma recolha fácil da informação necessária para determinar o progresso da obra, e ao alcance de todos os intervenientes. Tendo em conta a pergunta de investigação estabelecida para esta dissertação, foi feita uma investigação por forma a saber como seria possível unir as tecnologias BIM e RA, de modo criar uma ferramenta que ajudasse numa recolha de informação *as-built* de uma forma fiável e simples.

A proposta presente para a recolha da informação *as-built* é baseada na utilização de RA como veículo de visualização do modelo 3D BIM *on-site*, ou seja, através de um equipamento móvel, nomeadamente um *tablet*, *smartphone* ou computador, ser possível visualizar o modelo 3D do projecto que está a ser executado e, por sobreposição, conseguir identificar o *as-built*. Para esta tarefa, os filtros criados no modelo 3D BIM são de extrema importância, pois permitem que apenas sejam visíveis os elementos ou família de elementos que estão a ser construídos.

Como sistema de localização e posicionamento é proposto a utilização do iGPS, uma tecnologia testada e fiável de localização, com precisão inferior a 1mm, baseada na simulação de uma triangulação de satélites com recurso a transmissores de sinal colocados no terreno (Nikon, 2013). Com o modelo fixado no local exacto, o utilizador poderá movimentar-se pela obra, sendo que a plataforma apenas mostrará o modelo 3D que estiver dentro do campo de visão do aparelho e à escala necessária para que o modelo esteja sobreposto com a realidade. A tradução para ima-

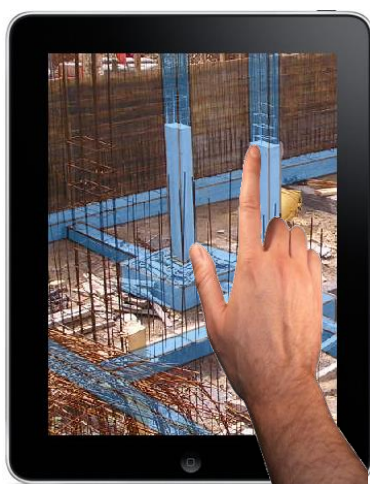


Figura 4.7 - Sobreposição do modelo 3D e interacção com o dispositivo por forma a definir o *as-built*

gem poderá ser vista na Figura 4.7, onde está representada a superimposição do modelo 3D com recurso à RA e um utilizador interage por forma a marcar o progresso actual do pilar.

Para a recolha efectiva da informação *as-built*, o utilizador deve marcar no dispositivo o progresso actual de todos os elementos que se encontrem em fase de construção.

A Figura 4.8 mostra o processo de recolha de informação e como é processado. O primeiro passo será seleccionar o elemento no qual se pretende definir o progresso. Após a sua selecção, aparecerá no ecrã a informação relativa ao elemento, identificando-o, por forma a que o utilizador

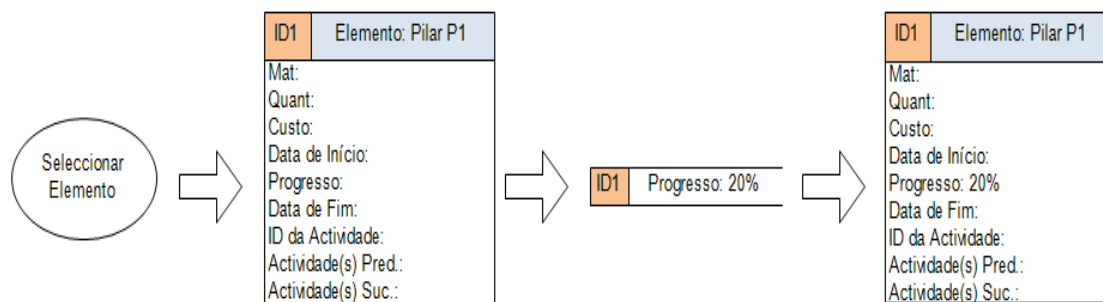


Figura 4.8 – Processo esquemático da organização da informação *as-built*

tenha a certeza que está a medir o progresso do elemento correcto. Para a recolha efectiva do progresso são propostas três alternativas que visam abranger o maior número de situações presentes em obra.

A primeira hipótese de recolha consiste em usar uma referência para conseguir saber com exactidão qual o progresso do elemento. Esta referência pode ser a “linha de metro”, em que utilizador coloca uma régua com exactamente um metro junto ao elemento a medir, marca o nível do metro e em seguida marca o progresso do elemento. Esta hipótese é válida para elementos verti-



Figura 4.9 – Discrepâncias da linha de metro devido à profundidade

cais. Nos elementos horizontais existem desafios tecnológicos devido à falta de profundidade que existe no ecrã no aparelho portátil. O problema de utilizar a linha de metro como referência para elementos que se prologam na horizontal, está presente na Figura 4.9, onde podem ver-se marcadas duas distâncias de um metro. Sendo que os pilares são equidistantes entre eles, a primeira linha de metro corresponde a cerca de um terço dessa distância, enquanto a segunda linha corresponde aproximadamente a uma distância quatro vezes maior na realidade. Devido a este desfaseamento, esta hipótese aconselha-se apenas para elementos horizontais de pequeno desenvolvimento.

A segunda hipótese de recolha é por *input* manual, ou seja, o utilizador escolhe o objecto a medir e insere manualmente a percentagem a que ele se encontra. Esta solução não permite reduzir os erros de medição que foram mencionados no capítulo 1, mas colmata as dificuldades apresentadas pela hipótese anteriormente explicada. Esta hipótese será mais pertinente para a recolha de elementos como portas, janelas, tubagens, loiças sanitárias, etc..

A terceira hipótese passa por um processo mais complexo, sendo que no entanto é a mais abrangente. Esta hipótese é baseada numa proporcionalidade directa entre a distância marcada no ecrã e o comprimento total do objecto. A visualização do modelo 3D é sempre feita à escala real, ou seja, no aparelho portátil, ver-se-ão sempre os objectos do modelo na sua verdadeira dimensão, tendo em conta a posição do utilizador. Para isto é necessário conhecer as coordenadas onde o modelo 3D BIM foi fixado e a coordenadas do utilizador, de modo a estabelecer uma relação de distância entre os dois.

Investigadores do *VTT Technical Research Centre of Finland* conseguiram materializar este conceito de visualização com sucesso, recorrendo à tecnologia GPS (VTT, 2010). No entanto, como a precisão necessária para medir o progresso tem de ser bastante elevada, a plataforma irá utilizar a tecnologia iGPS.

Para que o aparelho móvel mostre sempre o modelo 3D sobreposto com a realidade, este tem de ser reajustado em termos de escala, para que no ecrã apenas apareça o que se encontra no campo de visão, sendo que o tamanho de representação do modelo no ecrã varia directamente com a distância a que o utilizador se encontra do objecto. Quanto mais perto o utilizador se encontra do objecto, maior será o tamanho de representação do modelo no ecrã.

Baseado nesta relação entre o tamanho da representação do modelo e o tamanho real do modelo é possível obter um Factor de Escala (FE) que relacione os dois. Este factor de escala é inerente a todas as aplicações de RA, pois a visualização do objecto virtual é sempre feita na dimensão correcta e concordante com o objecto real. Para recolher o progresso dos elementos bastará então clicar no início do objecto e na sua evolução, como se pode ver na Figura 4.11.

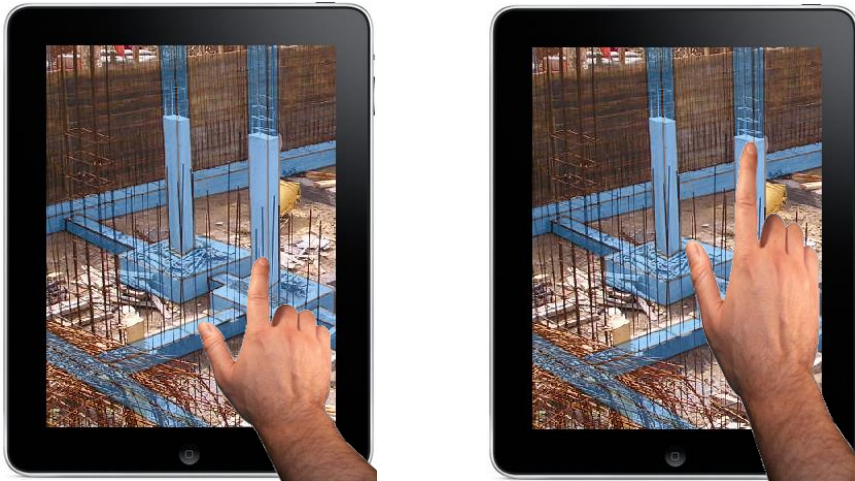


Figura 4.11 – Recolha do *as-built* de acordo com a terceira hipótese

Por forma a obter um valor percentual do progresso após o registo de ambas as extremidades do objecto, é necessário relacionar a distância entre toques no ecrã e o comprimento total do objecto (Figura 4.10).

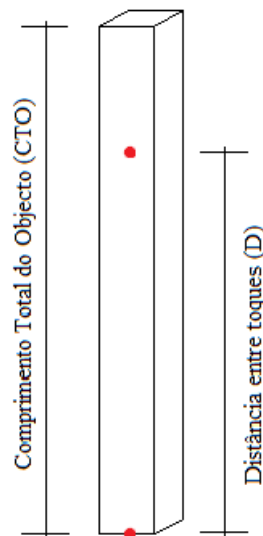


Figura 4.10 – Parâmetros para o cálculo do progresso

Para que seja possível comparar a distância entre toques no ecrã e o comprimento real do objecto é necessário que o comprimento total do objecto seja multiplicado pelo factor de escala, para assim ser possível comparar distâncias. Devido ao facto do modelo 3D BIM ser desenhado à escala real, o factor de escala estará sempre entre zero e um, pois no limite o modelo será representado à escala real. De acordo com a equação apresentada, é então possível obter um valor de progresso baseado na marcação do mesmo no ecrã do aparelho móvel.

$$\text{Progresso (\%)} = \frac{\text{Distância entre toques (D)}}{\text{Distância Total do Objecto (DTO)}} * \text{Factor de Escala (FE)} * 100\%$$

Equação 4.1 - Progresso do objecto segundo a hipótese três

Após a recolha da informação *as-built* é necessário guardá-la numa base de dados de modo a ser possível comparar esta informação com o *as-planned*. Esta base de dados terá uma estrutura em tudo semelhante à base de dados “as-planned”, sendo que no entanto a única entrada em cada elemento será o valor do progresso.

Optou-se por organizar esta informação numa base de dados idêntica à base de dados “as-planned”, para que o caminho a percorrer dentro das bases de dados seja igual e com isso a comparação entre o valor esperado e o valor real de progresso seja mais fácil. O processo de *input* do progresso na base de dados “as-built” está explicado na Figura 4.8

4.5. Comparação *As-planned* com *As-built*

Após a recolha de informação *as-built*, esta tem de ser comparada com a informação de projecto *as-planned*.

Neste processo apenas irão ser comparados os valores de progresso *as-built* com os valores de progresso *as-planned*. O valor de progresso *as-planned* entende-se por o valor esperado de progresso do objecto/actividade, tendo por base que o progresso dos mesmos é linear ao longo do

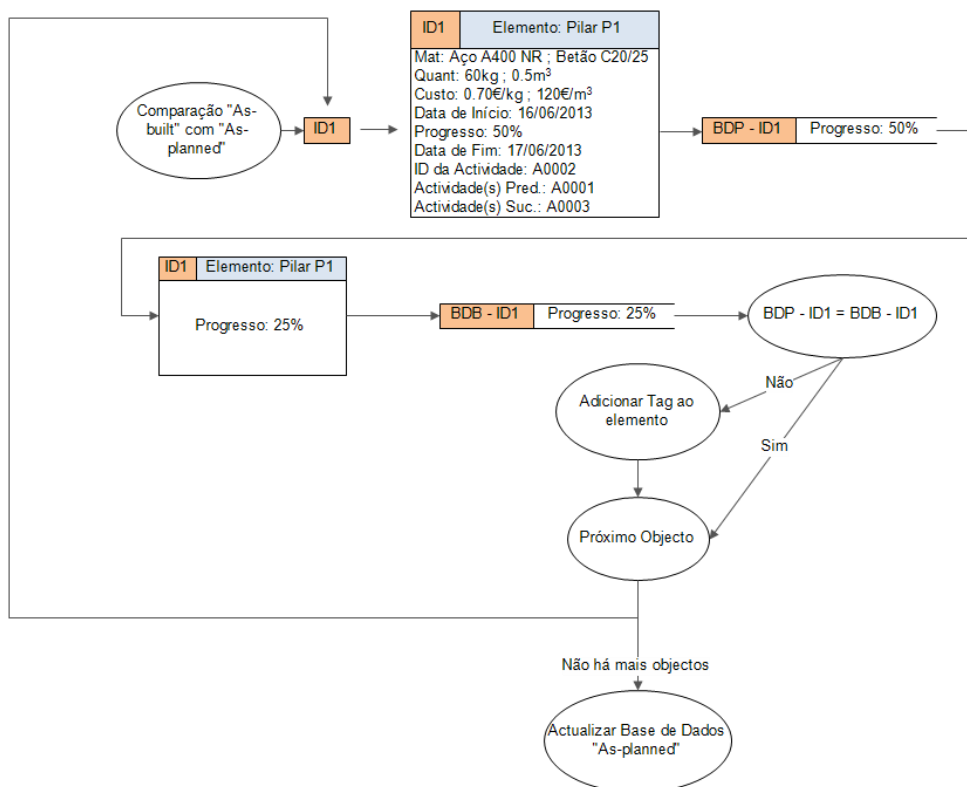


Figura 4.12 – Processo de comparação entre a informação *as-built* e *as-planned*

tempo, ou seja, se um objecto/actividade tem uma duração de três dias, então ao fim do primeiro dia o progresso esperado é de 33.3%.

O processo de comparação proposto na Figura 4.12 será um processo iterativo, que começa no elemento com ID1. Neste caso trata-se de uma comparação feita no final do dia 16 de Junho de 2013. De acordo com a informação recolhida pelo utilizador e presente na base de dados “as-planned” (BDP), o pilar P1 deveria encontrar-se a 50%, pois se a data de início do objecto é dia 16 e a data final é dia 17, então a plataforma admite que no fim do dia 16 o elemento deveria estar a 50% de progresso. Em seguida a plataforma irá procurar na base de dados “as-built” (BDB) o elemento com o ID correspondente, neste caso ID1, e pelo que foi registado encontra-se a 25%. Após a recolha de informação da BDP e da BDB, a plataforma compara os valores e verifica se eles são iguais. No caso afirmativo, a plataforma segue para a uma nova iteração, sendo que no caso negativo será adicionada uma *tag* ao elemento avisando que ele se encontra atrasado, e segue também para o elemento seguinte. A colocação da *tag* no elemento deverá ser feita com recurso ao *software* utilizado para a modelação BIM (Figura 4.13). A cor da *tag* deverá variar em função da folga que existe para a conclusão da actividade a que corresponde o objecto. Caso o objecto atrasado se encontre numa actividade crítica, ou sem folga, deverá ser associada uma *tag* vermelha, para simbolizar que aquele objecto tem prioridade, pois o seu atraso representa uma derrapagem na data final da obra. Caso a actividade tenha folga, então a *tag* deverá ser amarela, representando que o objecto está atrasado, mas que ainda tem uma folga para a sua finalização (Grazina e Cachadinha, 2013).



Figura 4.13 – *Tag* associada a um elemento atrasado (Grazina e Cachadinha, 2013)

A actualização da base de dados “as-planned” apenas será feita quando todos os elementos com progresso diferente de 0% na base de dados “as-built” forem comparados com o “as-planned”. A comparação entre *as-built* e *as-planned* nesta fase será apenas entre objectos e não actividades, sendo que não existe uma comparação efectiva entre actividades, apenas um reajustamento das mesmas em função dos objectos contidos nelas.

4.6. Actualização da base de dados “As-planned”

Esta plataforma propõe um planeamento dinâmico que está em constante actualização. Por forma a consegui-lo, após cada recolha de informação *as-built*, a plataforma deverá ser actualizada com a informação actual do progresso da obra e se necessário reajustar o planeamento. A plataforma proposta aglutina conceitos de planeamento LPS, pois o progresso actual da obra recolhido pelo utilizador vai definir um novo planeamento para o dia seguinte, tentando reduzir o *making do* e aumentar a performance de construção.

O processo de actualização da base de dados passa por reajustar as actividades para corresponderem ao progresso actual da obra. Na primeira leitura feita pela plataforma, o valor do progresso de todos os objectos na base de dados “as-planned” tem valor 0%. Após a primeira actualização, os objectos serão actualizados com base no progresso registado de acordo com o processo proposto no subcapítulo 4.4. Após a comparação do *as-built* com o *as-planned* dos objectos, a plataforma segue para a actualização da base de dados e do planeamento.

A actualização da base de dados começa pela actualização do planeamento através do reajustamento de actividades. Este processo é iterativo e começa na primeira actividade, verificando se contem objectos cujo progresso seja diferente de 0%. Se assim acontecer, o processo continua, caso contrário parte para a actividade seguinte. Caso existam objectos já em processo de construção, ou seja, com um progresso diferente de 0%, a plataforma retira três parâmetros de cada base de dados “as-built” e “as-planned”, “Progresso”, “Data de Início” e “Data de Fim”. Em seguida calcula o progresso da actividade com base na seguinte fórmula:

$$\% \text{ Actividade} = \frac{\sum \% \text{ dos objectos da actividade}}{\text{número total de objectos}}$$

Equação 4.2 – Progresso da Actividade

Para tal a plataforma soma o progresso de todos os objectos com o mesmo parâmetro “ID da Actividade” e divide-o pelo total de objectos presentes nas actividades, devolvendo um valor de progresso da actividade. Destaque para o processo que liga a informação *as-built* directamente à actualização da base de dados “as-planned”. Este procedimento é necessário para que o progresso dos elementos da base de dados “as-planned” seja substituído pelo progresso *as-built* dos correspondentes e assim represente a situação real da obra, para que na próxima leitura do progresso,

a base de dados “as-planned” represente a última versão *as-built*. Após o cálculo do valor de progresso da actividade, a plataforma compara o valor *as-built*, obtido pela fórmula acima descrita, com o valor esperado *as-planned*. Em seguida caso a actividade esteja atrasada, a plataforma recalcula o parâmetro “Data de Fim”, de modo a obter uma nova data que esteja ajustada à realidade *as-built*, actualiza em todos os objectos que correspondam à actividade em questão a “Data de Fim” e segue para uma nova actividade. Todo o processo de actualização encontra-se descrito graficamente na Figura 4.14.

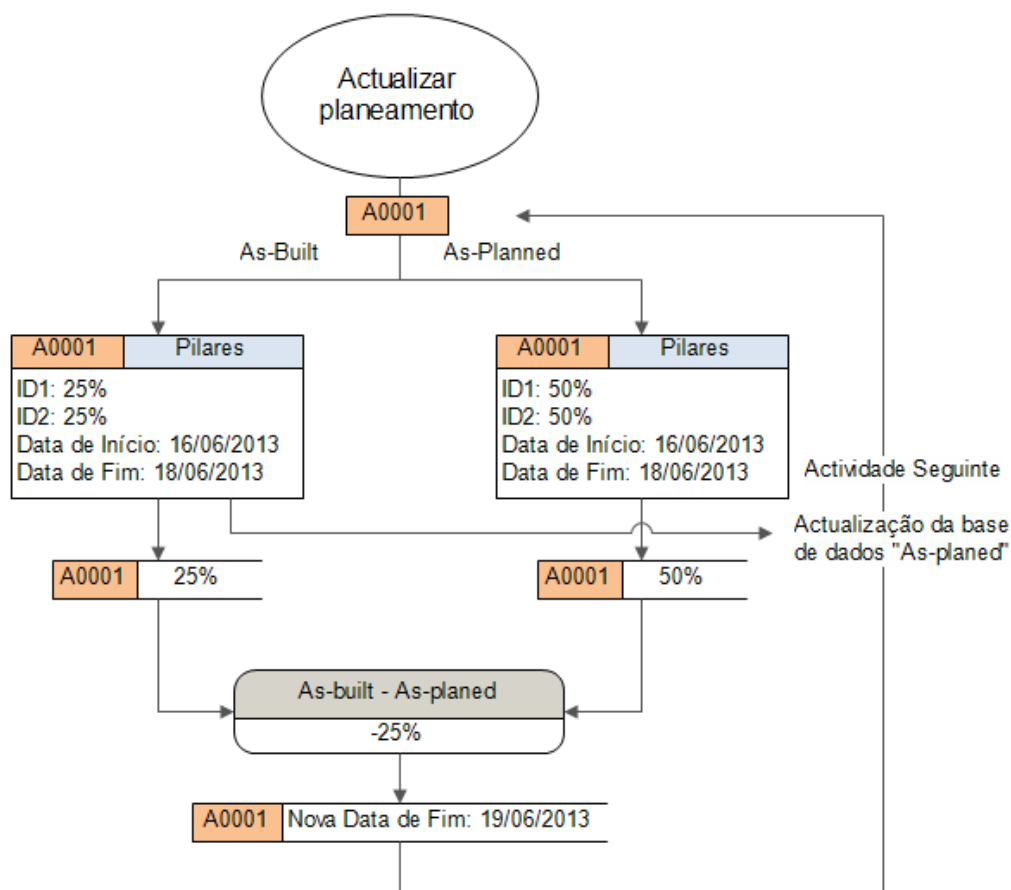


Figura 4.14 – Processo de actualização da base de dados “as-planned”

De modo a que a estrutura do primeiro planeamento seja mantida, a plataforma não altera as relações entre actividades. Na Figura 4.15 encontra-se um exemplo de um primeiro planeamento proposto para uma obra. Após a primeira recolha de informação *as-built* no dia 11, quinta-feira, verificou-se um atraso na execução dos pilares P2 sendo que no final do dia 11 deveriam estar acabados, mas apenas se encontravam a 50%, pelo que a plataforma recalculou a data final como dia 12, sexta-feira, como se pode verificar na Figura 4.16 e sem alterar as relações entre actividades. Esta alteração não teve repercussões no projecto pois a actividade Pilares P2 tinha uma folga de 3 dias, pelo que a extensão da sua duração de 2 para 3 dias não tem consequências.

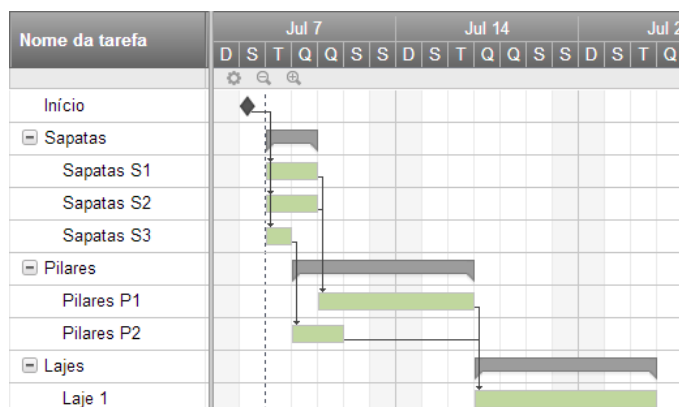


Figura 4.15 – Planeamento no dia 7 de Julho

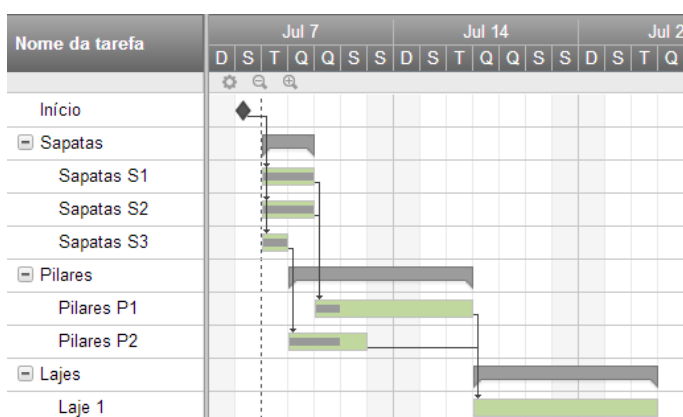


Figura 4.16 – Planeamento no dia 11 de Julho

A plataforma proposta pretende que a base de dados “as-planned” represente sempre fielmente a situação actual da construção. Para tal é proposto que a actualização da base de dados “as-planned” seja feita sempre que haja uma recolha de informação *as-built*.

A actualização da base de dados “as-planned” deverá ser feita o mais frequentemente possível, mas tendo em conta a relevância e a relação custo/benefício da periodicidade escolhida.

No subcapítulo 2.4.5 foi feita uma análise abrangente sobre o que dizem diversos autores sobre a periodicidade de actualização da informação *as-built*. O primeiro consenso encontrado é que quanto maior for a frequência de actualização, menores serão os riscos de não cumprir o planeamento. Relativamente à periodicidade de actualização da informação *as-built*, a grande maioria sugere actualizações mensais e/ou semanais, variando conforme a duração ou complexidade do projecto.

No entanto, o contexto base para estes autores é bastante diferente do proposto nesta dissertação, pois em nenhuma publicação os autores dispunham de tecnologia que permita uma recolha rápida e fiável do progresso, sendo que as suas conclusões estão baseadas em recolha de informação tradicional.

Tendo uma ferramenta que permite recolha de informação *as-built* mais rapidamente e, acima de tudo, de uma maneira fiável e exacta, o enquadramento desta questão é alterado de for-

ma paradigmática, uma vez que o esforço, tempo e custo de actualizar o planeamento de forma precisa é reduzido substancialmente. Isto recentra a discussão, uma vez que qualquer projecto pode beneficiar de uma actualização do progresso mais frequente.

Para tal, é proposta nesta dissertação uma metodologia para definir a periodicidade da recolha de informação, em intervalos mais curtos, tendo sempre em mente que quanto mais pequena for a distância temporal entre duas actualizações, maior será a probabilidade de não ocorrerem desvios no planeamento.

A periodicidade da recolha de informação *as-built* será obtida através de três regras:

- Média da duração das actividades propostas para a semana de trabalho;
- Actividades críticas devem ser actualizadas a cada terço da sua duração total;
- A periodicidade nunca pode ser superior a cinco dias (uma semana).

Estas regras serão descritas e discutidas em detalhe na secção 5.3.

4.7. Base de dados “Relatórios” e Relatórios de Análise

Atendendo a que esta plataforma propõe um planeamento dinâmico e em que o *as-planned* está em constante mudança, é importante guardar registos a cada alteração feita ao projecto.

Para tal, após a actualização da base de dados “as-planned” será feita uma cópia para a base de dados “Relatórios” para permitir analisar qual era a situação em determinada altura de vida da construção. A base de dados “Relatórios”, Figura 4.17, terá como entrada principal a data da leitura, para que seja mais fácil a procura de informação, sendo que em seguida a sua estrutura e conteúdo são iguais à base de dados “as-planned” na data correspondente.

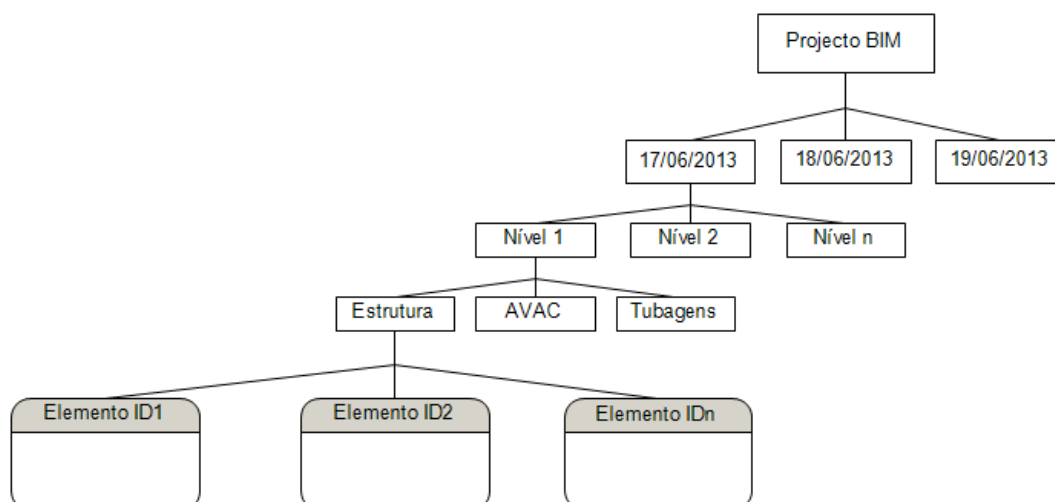


Figura 4.17 – Arquitectura da base de dados “Relatórios”

Esta base de dados será bastante extensa, pelo que o seu armazenamento deverá estar confinado apenas em aparelhos fixos que por norma têm uma capacidade de armazenamento e processamento bastante superior aos aparelhos móveis, sendo que estes apenas servirão para fazer a recolha de informação.

Por forma a ajudar no acompanhamento do progresso da construção, através da base de dados “Relatórios” será possível emitir diversos tipos de relatórios, com base nos nove parâmetros estabelecidos para cada elemento.

A partir destes nove parâmetros podem ser criados autos de medição, verificar a situação actual do planeamento, o custo da obra até ao momento, quais as actividades que se atrasaram, ou outros quaisquer relatórios que auxiliem os responsáveis pelo projecto a tomar decisões e definir objectivos.

Para o cálculo do custo associado a um elemento a plataforma analisa os parâmetros “Materiais”, “Custo” e “Progresso”. Assim o custo total de um elemento será obtido pela seguinte equação, sendo que o valor i corresponde ao número de materiais existentes no objecto.

$$\text{Custo Objecto} = \left(\sum_i \text{Quantidade}_i * \text{Custo Unitário}_i \right) * \text{Progresso}$$

Equação 4.3 – Custo do Objecto

Para o cálculo do custo de uma actividade o procedimento é igual, sendo que deve ser feito para todos os elementos da actividade, sendo que o i correspondente ao número de elementos que compõem a actividade.

$$\text{CustoActividade} = \sum_i \text{CustoObjectivo}_i$$

Equação 4.4 – Custo de Actividade

Poderá ser efectuado também um relatório em forma de diagrama de Gantt com o progresso do planeamento, em função da percentagem de progresso das actividades e a relação entre elas. Devido ao facto de cada objecto ter os parâmetros “Data de Início”, “Data de Fim”, “Progresso”, “ID da Actividade”, “Actividades Predecessoras” e “Actividades Sucessoras” é possível construir uma actualização do diagrama de Gantt, que se mantém fiel ao planeamento inicial, onde apenas poderão haver flutuações de datas e não de relações entre actividades, a não ser que seja fornecido um novo planeamento à base de dados.

Em seguida apresenta-se o Quadro 4.1 onde estão definidos os documentos usuais na construção e quais os parâmetros necessários para a elaboração de cada um desses documentos.

Quadro 4.1 Relatórios em função dos parâmetros

	Mat.	Quant.	Custo	Data de Início	Progresso	Data de Fim	ID da Act.	Act. Pred.	Act. Suc.
Auto de Medição	X	X	X		X		X		
Plano de trabalhos				X	X	X	X	X	X
Custo da Actividade		X	X				X		
Actividades com NC				X		X	X		X
Utilização de Materiais	X	X			X		X		

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

5.1. Plataforma e Base de dados

A plataforma proposta está assente em três *inputs* essenciais para o seu funcionamento, sendo estes, o modelo 3D BIM do projecto, o mapa de quantidades e o plano de actividades. Através destes três *inputs* é possível criar uma base de dados, que através de ligações entre os *inputs* consegue organizar a informação relativa ao projecto e associá-la ao elemento correspondente, ou seja, cada elemento estará perfeitamente definido em 9 parâmetros fundamentais:

- Materiais
- Custo
- Quantidade
- Data de Início
- Progresso
- Data de Fim
- ID da Actividade
- Actividades Precedentes
- Actividades Sucessoras

Na solução proposta para a organização da base de dados da plataforma procurou juntar-se o máximo de informação relativa ao projecto e que ao mesmo tempo seja suficiente para conseguir medir e actualizar o progresso do mesmo. A base de dados proposta foi pensada de modo a que a sua implementação num projecto real fosse simples e compatível com os processos actuais de planeamento. Para tal, oito dos nove parâmetros que definem um elemento são provenientes de documentos obrigatórios para a execução do projecto, sendo eles, o mapa de quantidades e o planeamento. O único parâmetro que não é obtido através de documentos obrigatórios é o progresso de cada elemento, pois trata-se de um parâmetro em constante actualização e que é feito através de recolha manual.

A modelação 3D BIM necessária para o funcionamento da plataforma poderá ser considerada uma desvantagem em termos de implementação prática, pois actualmente esta peça não tem obrigatoriedade no projecto e requer um trabalhador especializado para modelar e manter o modelo actualizado. O *know how* requerido para a execução desta modelação também pode ser um constrangimento, pois actualmente são muito poucas as empresas a nível nacional que trabalham regularmente com BIM.

No entanto, a modelação 3D e planeamento 4D começam a ganhar visibilidade no sector AEC, sendo que os protótipos em estudo mostram grandes benefícios, facilitando a organização da informação, o acompanhamento do progresso e ao mesmo tempo diminui os erros de construção e medição pois é fornecida informação visual ao trabalhador que vai executar a tarefa (Shin e Dunston, 2008).

5.2. Recolha da Informação *As-built*

Dado que a recolha de informação *as-built* é baseada na comparação visual entre o modelo 3D e a realidade, é importante definir o que é que deve ser sobreposto à realidade. Para tal, foram criados os filtros no modelo BIM, funcionalidade que permitiu associar a cada objecto uma especialidade. Isto permitirá que, aquando da recolha do progresso de elementos de betão, os restantes objectos que não estão associados a essa especialidade não sejam sobrepostos, tornando mais simples a visualização.

Para a importação do modelo 3D para o aparelho portátil podem existir duas opções distintas. A primeira opção é o aparelho estar ligado por rede *wireless* a um servidor, que poderá encontrar-se nos escritórios do estaleiro, em que apenas os objectos com o filtro escolhido pelo utilizador serão importados para visualização. Após a recolha de informação, o aparelho portátil envia para o servidor os dados recolhidos para análise, sendo meramente um veículo de recolha (Figura 5.1).

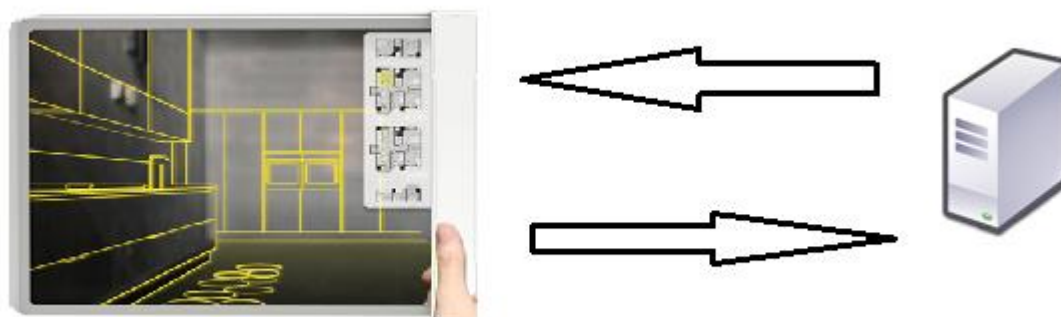


Figura 5.1 – Conexão *wireless* entre o aparelho portátil e o servidor

No entanto, podem existir situações em que a ligação *wireless* não é possível. Nestes casos, o utilizador pode proceder à escolha prévia dos filtros, importá-los para o aparelho e em seguida dirigir-se para a obra e efectuar as medições. Caso seja necessário importar o modelo na totalidade, poderão existir problemas relacionados com a velocidade de processamento de informação. O armazenamento da informação recolhida também terá de ser feito no aparelho portátil,

sendo que *a posteriori* os dados recolhidos poderão ser exportados para um computador com uma capacidade de processamento e armazenamento maiores.

Para que a plataforma cumpra as funcionalidades que foram propostas, é necessário que haja uma recolha de informação constante, de forma a actualizar a base de dados com a informação mais recente da situação *as-built*. Para tal, são propostas três hipóteses de recolha de informação, tentando abranger o máximo de situações possíveis de ocorrer em obra.

A primeira hipótese é baseada na utilização de uma referência para marcar a linha de metro, e a partir dessa referência conseguir medir distâncias. Esta solução consegue medir elementos verticais sem dificuldade, embora apresente desvantagens na medição dos elementos horizontais. Para medir elementos que se prolongam bastante na horizontal, como as lajes, o utilizador deve tentar posicionar-se ao meio do elemento e o mais afastado possível do mesmo, por forma a que os erros de medição devido à falta de profundidade no ecrã sejam reduzidos.

Na Figura 5.2 mostram-se duas situações em que um trabalhador está posicionado para medir o progresso de um elemento com desenvolvimento horizontal.

A posição ideal para medir o progresso encontra-se demonstrada na primeira situação, onde o trabalhador está equidistante de ambas as extremidades e afastado do elemento, por forma a obter uma vista geral do mesmo. Esta posição, permite reduzir o erro de medição associado à falta de profundidade do ecrã, pois a medição é feita de frente para o elemento.

Na segunda situação, o utilizador encontra-se mais próximo da extremidade A e do elemento, o que levará a mais erros na medição. Isto deve-se ao facto de o elemento se encontrar maioritariamente à direita do trabalhador, levando a que este proceda ao processo de medição numa situação desfavorável.

Como o elemento está a desenvolver-se mais para a sua direita, as medições que forem feitas para o lado B, estão sujeitas a erros de medição devido à falta de profundidade no ecrã, sendo que não se poderá aplicar a referência da linha de metro, pois o seu desenvolvimento não é linear no ecrã.

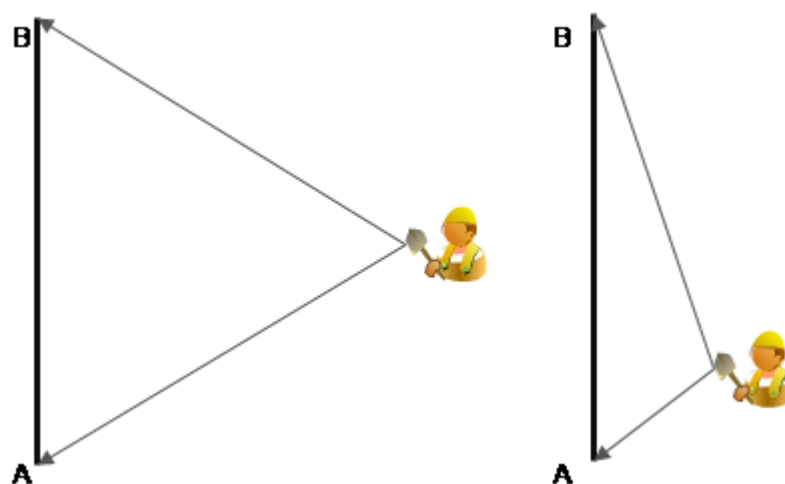


Figura 5.2 – Posicionamento para medição

A segunda hipótese de recolha é por *input* manual do valor do progresso. Esta solução não apresenta melhorias na eliminação de erros de medição, mas é uma forte alternativa para situações mais complexas, sendo que o trabalhador pode aliar à sua percepção visual uma imposição virtual do elemento 3D, reforçando as suas capacidades de inserir um valor de progresso o mais preciso possível.

No entanto esta solução encaixa-se numa vertente mais prática de recolha de progresso. Para elementos modulares, como janelas, portas, loiças sanitárias, onde a actualização do progresso pode ser feita de forma adequada utilizando um conjunto reduzido de valores discretos entre 0% e 100% como valores de progresso, esta solução é a ideal.

A terceira hipótese é uma solução mais complexa que as anteriores, mas tem por vantagem cumprir quase todas as situações possíveis de encontrar. Para conseguir obter as coordenadas GPS do modelo 3D BIM e do utilizador com um grau de precisão elevado, é proposta a utilização da tecnologia iGPS. Esta tecnologia, através de transmissores dispostos na zona de medição e receptores acoplados ao aparelho portátil de medição, conectados via *wireless* com uma estação base, consegue criar uma situação semelhante à triangulação de satélites, obtendo a localização do utilizador e do modelo com um grau de precisão inferior a 1 mm (Berlo *et al.*, 2009).

Para conseguir obter uma leitura precisa do progresso através do uso de RA, o grau de precisão necessário para garantir que o real e o virtual estão sobrepostos deve ser bastante alto, considerando-se que uma precisão inferior a 1mm é aceitável.

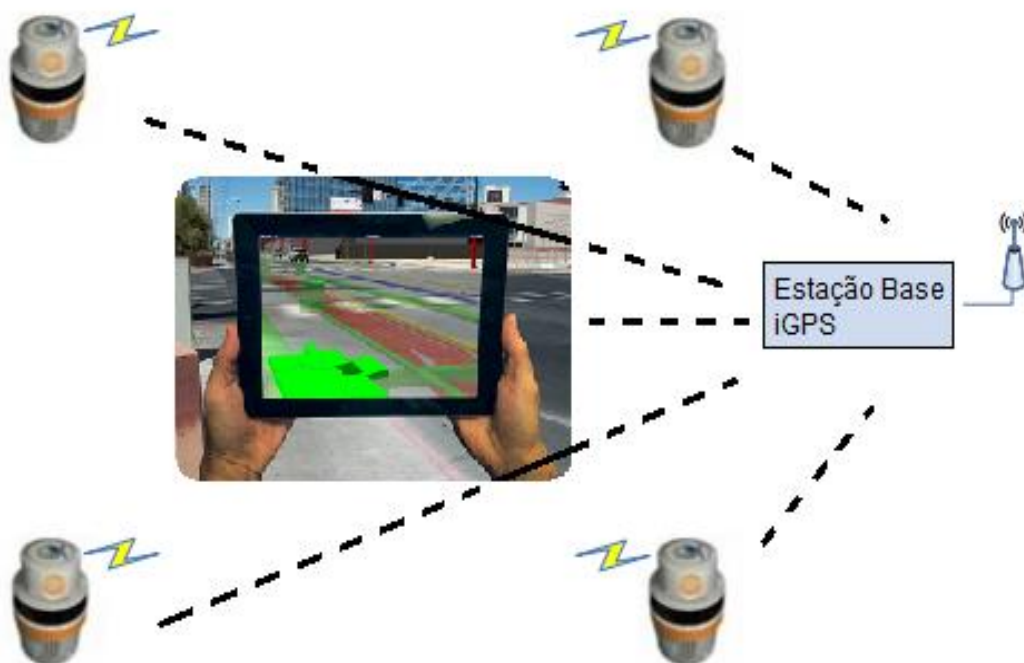


Figura 5.3 – Esquema do sistema iGPS

Em teoria, este sistema precisa de dois receptores e dois transmissores para conseguir obter uma posição com a precisão exigida. No entanto para utilizar esta tecnologia sem problemas, o aparelho portátil deverá ter dois receptores de sinal, um em cada extremidade superior, e quatro transmissores de sinal espalhados pela zona de trabalho, para assim evitar problemas de bloqueio de sinal provocados pela interposição do corpo do utilizador entre os transmissores e os receptores (Nikon, 2013) (Figura 5.3).

Os métodos tradicionais, baseados na recolha manual de informação, são lentos e pouco precisos, sendo uma das principais razões apontadas para que a recolha de informação seja pontual e feita com pouco controlo (Navon, 2005).

Todas as soluções propostas para recolha de informação *as-built* têm por base a RA como auxílio de medição. Esta tecnologia, através da imposição de modelos virtuais na realidade, tem a capacidade de melhorar substancialmente a percepção do utilizador relativamente aos elementos que está a analisar (Hou e Wang, 2013).

A escolha da RA como ferramenta auxiliar de recolha de informação *as-built*, foi baseada na sua versatilidade de utilização, bem como nos baixos custos de implementação. O maior custo associado a esta implementação terá a ver com o desenvolvimento da plataforma existente até chegar ao estado de aplicação comercial. Após desenvolvido o *software* será instalado em qualquer *smartphone* ou *tablet*, e estará pronto a utilizar.

Existem outras soluções no mercado, tal como o *laser-scan*. Esta é a tecnologia que melhores resultados apresenta na recolha precisa de informação, tendo cerca de 98% de precisão (Kim *et al.*, 2013).

A RA pode igualmente obter precisões bastante elevadas, mas a um custo bastante menor. O valor de um aparelho de *laser-scan* está situado entre os 15.500€ e os 116.500€ (DirDim, 2013), significativamente mais caro do que um custo médio de 400€ por *smarthphone*, 600€ por *tablet* ou 1000€ por portátil.

Para além das evidentes vantagens no plano económico, a solução proposta permite medições instantâneas de um objecto específico, ao contrário da utilização do *laser*, que faz um varrimento total da situação. Seguidamente, através de complexos algoritmos, consegue identificar os objectos construídos presentes numa nuvem de pontos recolhida pelo mesmo.

Devido ao facto de se pretender desenvolver um *software* para utilização em aparelhos portáteis, esta proposta ganha mais uma vantagem comparativamente a outras, pois o utilizador é livre de se movimentar, escolhendo a melhor posição para medir o progresso.

5.3. Processo de Comparação do *As-planned* com o *As-built* e Actualização da base de dados “As-planned”

A comparação da base de dados “as-planned” com a “as-built” é um passo fundamental para a actualização do planeamento.

Este processo comparará apenas o progresso de elementos e não de actividades. A principal razão para tal está relacionada com a possibilidade de uma actividade conter mais do que um objecto. Se o processo de comparação fosse aplicado às actividades, a plataforma calcularia a média do progresso dos elementos presentes na actividade e reportaria essa média como progresso da actividade. No entanto, para uma mesma média de actividades podem existir várias situações ao nível dos elementos.

No caso da Figura 5.4, a primeira imagem representa a actividade A0001 com dois elementos, ID1 a 100% e ID2 a 0%, sendo que a média da actividade A0001 é de 50%. A segunda imagem representa uma situação em que ambos os elementos se encontram a 50%, logo a média da actividade também é de 50%. Esta é a razão principal para que a comparação do progresso seja feita entre elementos e não actividades, pois pode haver elementos que se encontrem atrasados, mas que, devido à média da actividade corresponder à média esperada pela base de dados “as-planned”, esse atraso não seria devidamente notificado.

Como a comparação é feita entre elementos, é possível identificar atrasos e sinalizá-los com uma *tag* no elemento, para que estes não passem incólumes e que sejam tomadas decisões para a sua resolução. Deste modo, apenas na próxima fase da plataforma irão ser actualizadas as actividades em função do progresso dos elementos.

A0001	Pilares
ID1: 100%	ID1: 50%
ID2: 0%	ID2: 50%
Data de Início: 16/06/2013	Data de Início: 16/06/2013
Data de Fim: 18/06/2013	Data de Fim: 18/06/2013

Figura 5.4 – Média das actividades com diferentes valores de progresso para os elementos

A actualização das actividades é baseada no progresso de cada elemento que a constitui. Para tal, é calculada a média de progresso dos elementos de cada actividade e comparada com a base de dados “as-planned”.

No caso da informação *as-built* ser diferente da *as-planned*, o sistema reajusta automaticamente a duração da actividade, para que retracte a situação real. Caso a actividade esteja adiantada relativamente ao *as-planned*, a sua duração será reduzida em função da percentagem restante do progresso para atingir os 100%. Caso a actividade esteja atrasada, a plataforma recalcula a

Data de Fim da actividade, em função da percentagem de progresso em falta por forma a que o planeamento resultante se ajuste à realidade.

O processo de actualização da base de dados “as-planned” mantém todas as relações entre actividades, de modo a prevenir que, no fim da construção, o planeamento inicial seja completamente diferente do final, tornando mais fácil o seu entendimento e interpretação. Mantendo a estrutura do planeamento intacta, torna-se mais fácil verificar a evolução da obra, bem como a organização de actividades. Caso fosse possível alterar ligações entre actividades em função da situação *as-built* poderia criar-se um planeamento bastante complexo e demasiado variável, susceptível de produzir erros e más interpretações.

A actualização do planeamento é feita após a recolha de informação “as-built”. Apesar de existirem inúmeras publicações sobre actualização de planeamento, a diversidade de actividades e métodos de acompanhamento levou a que não exista uma proposta ou regra clara, comumente aceite e eficaz sobre a periodicidade da actualização do planeamento. Sendo que é objectivo da proposta desta plataforma que esta reflecta permanentemente a situação actual da obra, não faria sentido fazer as actualizações com grandes intervalos de tempo.

No entanto, esta actualização necessita de intervenção de um operador que, em obras grandes, poderá levar muito tempo a recolher a informação *as-built*. A primeira questão que se coloca está relacionada com custo e esforço necessários para recolher esta informação.

Para que a plataforma seja uma ferramenta útil e eficiente, a recolha de informação deve ser um processo rápido. Se o operador não conseguir recolher toda a informação *as-built* num dia, o custo associado a esta recolha irá aumentar mas o benefício mantém-se, pois esse trabalhador, cuja função principal não é medir o progresso da obra, terá de utilizar mais um dia de trabalho, sendo que este continua a executar uma tarefa não produtiva. Este problema é tanto maior, quanto maior for a frequência de actualização, pois caso esta frequência seja, por exemplo, de dois dias, em função do enquadramento anterior, teria de existir na obra um trabalhador com a função específica de recolher a informação *as-built*, com o prejuízo do empreiteiro estar a ter um custo efectivo numa tarefa que não traz valor acrescentado à obra.

A segunda questão que se levanta é o problema da sobre-actualização do planeamento. Caso o tempo entre cada recolha de informação seja curto, o processo de actualização do planeamento torna-se excessivamente moroso e pouco produtivo, pois as actualizações realizadas não são suficientemente significativas para justificar o custo associado a essa recolha. Outro aspecto relacionado com a sobre-actualização do planeamento é a sua descaracterização progressiva, ou seja, sempre que é feita uma actualização, o planeamento sobre alterações que poderão ou não ser significativas. No entanto, se forem feitas muitas actualizações “desnecessárias”, o planeamento corre o risco de perder a sua função de planear. A sua variabilidade torna-o pouco fiável e confuso de se transmitir aos intervenientes, além de desestabilizador do andamento dos trabalhos.

Como forma de reduzir o tempo despendido na recolha de informação e aumentar a fiabilidade da informação recolhida, utiliza-se a RA. Esta tecnologia, através da sobreposição virtual dos elementos, aumenta a exactidão dessa informação e reduz o tempo de recolha, em comparação com os métodos tradicionais que, geralmente, apenas se baseiam na informação estimada e transmitida pelo executante, seu superior ou entidades supervisoras.

Para tal, foi proposto um método que estabelece uma periodicidade de recolha de informação “as-built”, baseada no conjunto de regras estipuladas no subcapítulo 4.6.

A primeira regra preconiza que a periodicidade de actualização do planeamento deve corresponder à média da duração das actividades previstas para a semana de trabalho. Com isto evita-se que haja excesso de informação na base de dados. Situações em que, por exemplo, a média das actividades corresponda a quatro dias, uma recolha diária de informação, apesar de fornecer a situação real da obra, pode ser maléfica, sobrecarregando o sistema com informação excedente e com pouca relevância.

A segunda regra diz que as actividades críticas devem ser actualizadas a cada terço da sua duração total. Este procedimento baseia-se na premissa que caso exista um atraso numa actividade crítica, ele vai repercutir-se na duração total do projecto. Logo, quanto mais cedo for possível detectar eventuais atrasos e tomar medidas correctivas, menor será o impacto no planeamento (Cachadinha, 2002).

A última regra diz que, independentemente dos valores de periodicidade obtidos pelas regras anteriores, esta periodicidade nunca pode ser superior a cinco dias. Isto prende-se maioritariamente com a necessidade de ter um planeamento actualizado e que nunca esteja completamente desfasado da situação real. Procurou aqui incluir-se também o mecanismo de base da determinação do PPC. Esta regra cria os pressupostos para que este índice possa ser usado.

Dada a metodologia proposta para esta plataforma, uma recolha de informação com intervalos de tempo demasiado curtos ou longos é ineficaz, sendo prioritário definir uma boa periodicidade de modo a obter uma boa relação custo/benefício entre o custo efectivo de ter um operador a recolher a informação *as-built* e o benefício que daí advém em termos de planeamento.

5.4. Base de dados “Relatórios”

O principal motivo para a criação de uma base de dados que junte toda a informação desde o início até ao fim da obra prende-se com a necessidade de registar e conhecer era a situação da obra para qualquer instante desde o seu início.

Sendo que o método de planeamento proposto é dinâmico, a estrutura do mesmo pode sofrer alterações após a sua actualização, razão pela qual, após cada actualização, é guardada na base de dados a estrutura do planeamento e toda a informação presente nos nove parâmetros definidos para cada elemento que constitui a base de dados.

Tendo em vista uma melhoria da capacidade de análise e decisão nas reuniões de acompanhamento de obra, uma base de dados com elevado nível de detalhe sobre cada objecto conduz a um conjunto de novos relatórios úteis e que de outra maneira levariam muito mais tempo a fazer.

Desta forma poderão ser identificados diversos tipos de padrões, tais como actividades que têm tendência a atrasar-se e actividades que raramente se atrasam. Os relatórios poderão ser customizados em função do *output* que o utilizador quiser, mas serão sempre baseados nos nove parâmetros de cada objecto. Esta base de dados deverá estar guardada num computador com elevada capacidade de armazenamento.

5.5. Situações aplicáveis

A presente dissertação propõe uma plataforma conceptual que visa conseguir medir o progresso de obra e fazer uma actualização automática do planeamento.

Para tal é necessário que exista um modelo 3D BIM do projecto, de modo a que a plataforma tenha toda a informação sobre a geometria e constituição dos objectos, para o seu funcionamento.

Visto que o processo de *input* de informação *as-built* é feito com recurso à RA, apenas os trabalhos que possam ser comparados visualmente com o modelo 3D imposto devem ser considerados para a plataforma, estando entre eles a execução de:

- Fundações
- Infra-estruturas
- Alvenaria
- Redes de Água
- Redes Eléctricas
- Redes de AVAC
- Pinturas
- Ladrilhos
- Portas
- Janelas
- Loiças
- Torneiras e acessórios

Esta plataforma está vocacionada para o acompanhamento de grandes obras, pois o trabalho e tempo necessários para a criação da base de dados “as-planned” podem não justificar-se para obras de pequena dimensão. Ainda assim, a sua utilização em pequenas obras não é desenco-

rajada, pois os benefícios identificados são independentes do tamanho da construção, sendo que o ponto crítico está relacionado com o tempo de construção da base de dados e com a modelação 3D.

No entanto, a preferência por obras de maior dimensão deve-se à necessidade de controlar um fluxo de informação muito grande e organizá-la de forma estruturada. A existência de um plano de trabalhos, em formato de diagrama de Gantt, que normalmente não existe em obras particulares de pequena dimensão, é outra diferença que leva a que esta plataforma esteja direccionada para obras de grande dimensão.

5.6. Limitações

Embora a utilização da RA esteja em franco crescimento e se preveja que venha a ser cada vez mais utilizada no futuro, ainda existem algumas limitações à sua aplicação.

A dificuldade em arranjar informação sobre o projecto e sobre pormenores construtivos de edifícios antigos, pode ser uma limitação à plataforma em obras de reabilitação, pois para o funcionamento correcto da mesma é necessário que a modelação 3D seja exacta e replique a realidade, algo extremamente difícil, principalmente do ponto de vista da constituição dos elementos construtivos.

Actividades como perfuração, transporte ou carregamento são bastante difíceis de medir utilizando a RA. O transporte e carregamento são actividades que envolvem movimento e não são materializáveis, ou seja, não são representadas nem constituem qualquer tipo de objectos no modelo 3D BIM. No caso da perfuração, ainda é bastante difícil medir a profundidade apenas com recurso à RA, pois como foi dito anteriormente, a falta de profundidade associada aos ecrãs não permite que sejam feitas medições correctas numa direcção que não seja paralela aos mesmos.

A utilização da plataforma proposta em trabalhos de escavação revela-se igualmente problemática. Devido à falta de profundidade do ecrã, explicada no subcapítulo 4.4, é desafiante conseguir obter resultados fiáveis do progresso da escavação, comparando apenas visualmente o *as-planned* com o *as-built*.

O sistema de posicionamento proposto, iGPS, consegue obter precisões muito elevadas, no entanto é necessário que existam pelo menos dois transmissores de sinal. Estes transmissores devem ser colocados de tal forma a que haja pelo menos um que esteja em contacto directo com os satélites em órbita da Terra. Isto leva a que possa ser precisa uma quantidade grande de transmissores para criar uma linha de contacto ininterrupta, permitindo assim que o sistema consiga funcionar a 100%.

5.7. PERT/CPM, *Making Do* e LPS

A plataforma proposta foi pensada de modo a ter uma integração o mais fácil possível nos métodos de trabalho comuns no sector AEC.

O método de planeamento tradicional e predominante entre os profissionais é ainda o CPM. Este método é utilizado mundialmente, e é parte integrante da formação académica dos profissionais da área. É bastante fácil de utilizar, sendo que as actividades apenas estão parametrizadas em função do tempo que duram e das suas ligações lógicas.

No entanto, foram identificadas falhas no método, que podem ser colmatadas com novos métodos de trabalho. Tanto o PERT como o CPM são métodos de planeamento *push*, em que a sequência de actividades e as suas datas de início são “empurradas” para obra, sem ter em conta qual a situação da mesma. Devido a esta característica, o CPM origina *Making Do*, sendo esta uma das principais limitações apontadas a este método (Howell e Koskela, 2000).

Para evitar o *Making Do*, Ballard (Ballard, 2000) propôs uma nova metodologia de planeamento chamada LPS. Para tal, Ballard propôs que nesta nova metodologia recorrer ao *input* de informação vindo directamente dos executantes, a que chamou os *Last Planners*. Estes informam os decisores sobre quais as actividades que reúnem todas as condições para começar na semana seguinte, por forma a que o planeamento seja “puxado” pelas frentes de trabalho, ao contrário do proposto pelo CPM, em que o planeamento é “empurrado” ou imposto às frentes de trabalho. Esta alteração nos métodos de planeamento mostrou-se bastante eficaz na redução do *Making Do* (Koskenvesa e Koskela, 2003).

Apesar de estudos como (Alarcon, 2001) demonstrarem os benefícios da implementação do LPS, existem diversas barreiras a ultrapassar no sector AEC para que metodologia possa vir a ganhar:

- Liderança fragmentada;
- Falta de informação sobre o método;
- Pouco trabalho de equipa;
- Mau planeamento inicial.

Outra característica fundamental do LPS é que não existe um caminho crítico. A sequência de actividades vai sendo programada em função dos *Last Planners*, situação que pode causar problemas adicionais. Como a escolha de actividades cabe aos *Last Planners*, a responsabilidade é transferida para pessoas que não têm frequentemente a informação necessária para distinguir quais as actividades críticas e não-críticas. Ainda que este conceito não exista no LPS, existem sempre actividades que, ao se atrasarem, vão produzir um atraso global no planeamento.

O LPS assenta numa forte componente de trabalho de equipa, o que no sector AEC pode ser considerado um problema, devido à diversidade de intervenientes, muitas vezes pontuais e cuja única preocupação é executarem o seu trabalho independentemente dos restantes.

Ainda que a sua implementação completa seja difícil, a utilização de conceitos presentes neste método pode ser benéfica quando associados ao CPM.

O método de planeamento preconizado para a plataforma proposta conjuga estes três conceitos fundamentais de planeamento, CPM, LPS e *making do*, por forma a criar uma nova metodologia de planeamento baseada em conceitos consolidados e comumente conhecidos e aceites pela Indústria.

Sendo o CPM um método de planeamento utilizado universalmente, optou-se por usar os seus pressupostos como base para a proposta. O planeamento é feito através de diagramas de Gantt, onde as actividades estão ordenadas e relacionadas através de precedências e sucessões. Este conceito é amplamente utilizado e é apelativo visualmente, pois torna-se fácil entender a sequência de actividades. No entanto, no CPM este planeamento é estático, existindo apenas um caminho crítico e uma sequência de actividades que é imposta em obra.

No LPS não existe o conceito de caminho crítico ou de sequência rígida de actividades, sendo que as actividades prontas a começar são identificadas pelos *last planners*, ou seja, quem as irá executar, razão pela qual o *making do* consegue ser reduzido drasticamente.

Para tal é recebido um *feedback* dos trabalhadores e a partir daí são definidas quais as actividades que podem ou não dar início. O conjunto destas actividades é designado por *back log*, e garante que as actividades iniciadas têm todas as condições necessárias para que a sua execução seja fluida e contínua.

Assim sendo, é proposto que seja feita uma recolha de informação *as-built* com recurso à RA e a um aparelho móvel, por forma a obter um *feedback*, não do trabalhador, mas sim do progresso efectivo da obra. Esta informação recolhida é comparada com a base de dados “as-planned” e actualiza a mesma no caso de haver discrepâncias. Este processo é equivalente ao conceito *pull* do LPS, que não é mais do que o *feedback* do trabalhador.

Koskela provou que ao receber informação *as-built* da obra, proveniente dos executantes, é possível reduzir o *making do* (Koskela, 2004), esta plataforma propõe um método de planeamento CPM dinâmico, onde é fundamental receber *input* vindo da obra para actualizar a *baseline*, o planeamento original. Desta forma é contrariado o *making do* associado ao CPM.

Ao receber a informação *as-built* a plataforma compara-a com a base de dados “as-planned” e reajusta o planeamento, sem nunca quebrar as ligações entre actividades. Este processo de actualização dá origem a um planeamento que poderá ser ligeiramente diferente do inicial.

No entanto, em termos de precisão, o planeamento disponível é sempre ajustado à realidade da obra, pretendendo-se com isto que sejam tomadas decisões o mais correctas possível e

com a maior quantidade de informação existente, reduzindo a possibilidade de as decisões tomadas terem impactos negativos, como o *making do*.

A necessidade que foi identificada de nunca quebrar as ligações entre actividades deve-se à possibilidade do planeamento final poder ser completamente diferente do inicial. Isto poderia ter impactos negativos durante a execução do planeamento, pois se fosse possível quebrar ligações entre actividades e reajustar a ordem das mesmas, a informação transmitida para a obra teria de ser dada com bastante mais precisão e frequência, pois a cada actualização poderiam haver trocas acentuadas de actividades. Este processo poderia desfigurar o planeamento inicial e tornaria bastante mais difícil uma análise comparativa entre o planeamento final e o inicial.

Manter as ligações intactas entre as actividades é um conceito presente no CPM, e que é aplicado nesta plataforma. O facto de haver uma determinada ordem de execução de actividades leva a que exista sempre um caminho crítico que, nesta plataforma, pode ser actualizado a cada actualização da base de dados “as-planned”, em função da informação *as-built* recolhida, mantendo assim a sua relevância

As actividades são reajustadas em função do seu progresso real, podendo em alguns casos haver atrasos em determinadas actividades que não se encontram no caminho crítico, mas que por terem uma folga pequena ou inexistente, passam a pertencer ao caminho crítico.

Esta plataforma actualiza automaticamente a base de dados “as-planned” com a situação *as-built* mais actual e reajusta a data final das actividades atrasadas em função do tempo que falta para estas terminarem. Como tal, nunca irão começar actividades sem que as precedências das mesmas estejam completas, pois o planeamento vai sendo ajustado à realidade num todo, e isto ajuda bastante a reduzir o *making do*.

6. CONCLUSÕES

A presente dissertação incidiu sobre a aplicação de RA a modelos BIM para a medição de produção e ajuste automático do planeamento. Para tal foi feito um estudo e reflexão aprofundados sobre a literatura existente sobre BIM, RA e planeamento. Foram identificadas as necessidades do sector AEC na medição do progresso, e como é que o BIM e a RA poderiam supri-las. Associada à medição do progresso, está a actualização do planeamento. Por forma a integrar a informação recolhida num processo de actualização automático, foram estudados três métodos de planeamento, PERT, CPM e LPS, com vista a criar uma nova metodologia.

Como resposta à pergunta de investigação da dissertação, é proposta uma plataforma conceptual que visa colmatar todas as necessidades identificadas no capítulo 2, à qual se chegou percorrendo as fases previstas na metodologia descrita no capítulo 3.

6.1. Conclusões

A primeira conclusão que se pode tirar é que a utilização da RA no sector AEC está a aumentar cada vez mais, prevendo-se que num futuro próximo seja uma ferramenta fundamental no design e execução de um projecto. Com o *software* de modelação BIM, é possível dotar o projecto de informação relevante para a sua construção e, através da RA, essa informação pode ser levada para a obra, até ao último executante, sem que sofra alterações, preservando assim a sua integridade desde a fase de projecto.

A pensar numa aplicação futura, que tenha por base esta plataforma, a modelação BIM não podia ser deixada de fora, não só pela sua forte ligação ao sector AEC, mas também pelo facto de permitir definir filtros que possam mostrar apenas os objectos desejados, e permitir associar a esses objectos informação relevante.

Após a revisão tecnológica, foi possível concluir que a temática em estudo na presente dissertação representa uma nova abordagem para a resolução dos problemas identificados na medição e monitorização em obra. Recorrendo a uma tecnologia com baixos custos de implementação como a RA, foi possível propor numa plataforma que colmatasse as deficiências constatadas na revisão tecnológica.

Para criar um desenho da plataforma proposta, o primeiro passo foi identificar as relações que se poderiam estabelecer entre BIM, mapa de quantidades e plano de actividades, de modo a que fosse possível integrar tudo numa base de dados “as-planned”, para posterior comparação com uma base de dados “as-built” que será obtida através da prévia medição de progresso com recurso a um aparelho portátil.

Ao estabelecer as ligações entre BIM, planeamento e mapa de quantidades, a informação relativa a todos os elementos construtivos do projecto ficou organizada de forma simples e com fácil acesso. Foram também estabelecidas as sequências de transmissão de informação e os processos de tratamento da mesma, com base nos *outputs* pretendidos. Assim, foi criada a arquitectura da plataforma, onde é mostrado esquematicamente o fluxo de informação e os processos envolvidos, por forma a conseguir comparar a informação *as-built* com a informação *as-planned*, bem como fazer uma actualização automática do planeamento utilizando a informação *as-built*.

A RA foi a tecnologia escolhida para ligar o modelo BIM à obra e assim usufruir de um sistema de auxílio/informação visual exacto, de fácil implementação e utilização. Com recurso à RA, a plataforma propõe para a medição de progresso, uma nova metodologia que passa por comparar o *as-built* com o um modelo 3D virtual *as-planned*, e assim obter valores de progresso para cada elemento, e por sua vez, para cada actividade. Foram identificadas quais as áreas de aplicação desta plataforma e como deve ser implementada. Devido a algumas limitações conhecidas da RA, a plataforma não conseguiu cobrir a totalidade dos trabalhos presentes numa obra, mas assegura a grande maioria dos mesmos.

Foi também proposta uma metodologia para a actualização automática do planeamento em função da informação recolhida em obra, *as-built*. Esta actualização automática do planeamento tem por base conceitos de PERT/CPM, LPS e *making do*. A base do planeamento é o CPM, método utilizado universalmente, ainda que com algumas limitações, razão pela qual foram utilizados outros conceitos para complementar o mesmo. Tendo sido o *making do* identificado como uma das principais fontes de desperdício na construção e estando associado o seu aparecimento a métodos de planeamento como o CPM, conceitos de planeamento LPS, como o *feedback* da obra, foram trazidos para esta nova metodologia como forma de evitar este desperdício e apresentar um complemento ao CPM que permita a sua utilização sem prejuízo de causar desperdício.

Ao propor um método de planeamento dinâmico, baseado no CPM que está fortemente implementado na indústria da construção, esta plataforma não terá dificuldades em ser integrada nos processos de monitorização utilizados pelas empresas de construção. Prevê-se também que, com a adaptação de conceitos de outros métodos de planeamento, a monitorização de obra seja mais exacta e fiável.

6.2. Objectivos, Hipóteses de Estudo e Questão de Investigação

Para a presente dissertação foram definidos quatro objectivos específicos que, sendo cumpridos, permitem comprovar as hipóteses de estudo e responder à pergunta central de investigação da dissertação. Consideram-se cumpridos os quatro objectivos propostos, dado que:

- i. Conseguiu modelar-se as relações entre o modelo 3D, o planeamento e mapa de quantidades;
- ii. Foi modelada uma plataforma que permite comparar a informação *as-planned* com a informação *as-built*, fazendo actualizações do planeamento.

Apesar de estarem definidas as ligações entre BIM, planeamento e mapa de quantidades, não foi estudada a fundo a questão da utilização de materiais e custos associados, fixando o campo de pesquisa na recolha de informação *as-built*, comparação com *as-planned* e actualização automática do planeamento.

Tendo sido os objectivos cumpridos, as três hipóteses de estudo revelaram-se verdadeiras e exequíveis:

- i. Com recurso à tecnologia iGPS é possível obter um elevado grau de precisão, quer no posicionamento, quer na sobreposição dos modelos 3D. Sendo que a sobreposição dos mesmos é rigorosa ao milímetro, a informação recolhida é bastante fiável.
- ii. Tendo sido verificado que a recolha de informação através da RA é fiável e precisa, integrando o modelo BIM com o planeamento e o mapa de quantidades é possível fazer comparações de elevado grau de precisão, chegando a valores de progresso, utilização de materiais e custos precisos e fiáveis.
- iv. Foram propostas novas metodologias de recolha e monitorização de progresso de obra cuja integração no planeamento CPM evita o *Making Do*, tornando este método mais robusto e fiável.

A verificação das hipóteses de estudo permitiu chegar a uma resposta conclusiva à pergunta de investigação:

É possível utilizar a RA para fazer a comparação entre *as-planned* e o *as-built* por forma a obter-se uma medição do progresso, actualização do planeamento e custo da obra, através da plataforma proposta, de uma forma fiável e de fácil implementação.

6.3. Perspectivas Futuras

Esta plataforma conceptual abre novas perspectivas de investigação, nomeadamente utilizar as ligações criadas e as bases de dados propostas para criar um novo sistema de controlo de custos automático e instantâneo, em função da informação recolhida em obra. Um sistema deste tipo possibilitará um controlo maior sobre o custo de cada elemento e actividade, permitindo, por exemplo, identificar padrões de derrapagens de custos em determinadas actividades ou elementos.

O novo método apresentado para um planeamento dinâmico sustentado em informação *as-built* também abre portas para novas perspectivas de acompanhamento de obra mais precisas e frequentes, no limite em tempo real. Esta funcionalidade possibilitará também verificar mais frequentemente a execução do planeamento, permitindo a detecção de erros em tempo útil.

O crescente tecnológico a que assistimos hoje em dia irá colmatar as limitações encontradas na tecnologia actual, e criará tecnologia ainda mais sofisticada e precisa, quer em termos de sistemas de posicionamento global, quer em termos de *software* de RA integrada em aparelhos portáteis. Esta evolução permitirá a utilização da RA para tarefas de escavação e topográficas, que requerem um elevado grau de precisão.

Através da sobreposição de elementos virtuais à realidade, a plataforma poderá também ser utilizada em actividades de segurança, nomeadamente para a verificar qual a melhor localização para colocar os equipamentos de protecção colectiva (EPC) e simular situações de risco.

Sendo que a plataforma engloba todo o projecto que foi desenvolvido, a sua posterior utilização para a manutenção do objeto construído (*facilities management*) também é vista como uma perspectiva de grande valor, pois é possível saber em que local exacto se encontram os aparelhos que requerem manutenção e anexar a estes *tags* com informação fundamental, como a data da próxima vistoria e os problemas identificados na anterior.

De acordo com a Lei de Moore (Moore, 1965), prevista por Gordon Moore, co-fundador da *Intel Corporation*, a tecnologia evolui para o dobro a cada 24 meses mantendo o seu custo. Embora alguns investigadores da época previssem que a tecnologia iria dobrar a cada 18 meses, esta lei foi comprovada através da análise da evolução do número de transístores presentes nos processadores com o passar do tempo.

Tendo em conta esta lei, aceite universalmente e que ainda hoje rege a evolução das TIC, prevê-se que com a tecnologia disponível hoje, a materialização desta plataforma possa ser possível nos próximos dois anos, devido à evolução da modelação em BIM, ao desenvolvimento em termos de *hardware* e *software* informático, ao aumento da exactidão dos sistemas de GPS e à crescente evolução das tecnologias de RA

7. BIBLIOGRAFIA

AHUJA, H. e DOZZI, S. P. A. - *Techniques in Planning and Controlling Construction Projects.*, John Wiley and Sons Inc., 1994.

AICCOPN, 2010. http://www.aiccopn.pt/news.php?news_id=739 (29/07/2013).

ALARCON, L. - *Lean Construction in Chile: a national strategy and local results.* In : 3rd Annual Lean Construction Congress 2001.

AZIZ, R. e HAFEZ, S. - *Applying lean thinking in construction and performance improvement.* In Press, Alexandria Engineering Journal, 2013.

AZUMA, R.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R.; FEINER, S.; JULIER, S. e MACINTYRE, B. - *Recent Advances in Augmented Reality.* IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 6, págs. 34-47. 2001.

AZUMA, R. - *A Survey of Augmented Reality.* Teleoperators and Virtual Environments, vol. 6, págs. 355-385. 1997.

BAE, H.; GOLPARVAR-FARD, M. e WHITE, J. - *Enhanced HD4AR (Hybrid 4-Dimensional Augmented Reality) For Ubiquitous Context-Aware AEC/FM Appl.* In : 12th International Conference on Construction Application of Virtual Reality 2012.

BALLARD, H. - *the last planner system of production control.* Master's thesis, The University of Birmingham, 2000.

BASU, A. - *4D Scheduling - A Case Study.* AACE International Transactions, 2007.

BEHZADAN, A. e KAMAT, V. - *A Framework for Utilizing Context-Aware Augmented Reality Visualization In Engineering Education.* In : 12th International Conference on Construction Application of Virtual Reality 2012.

BEHZADAN, A. e KAMAT, V. - *Enabling discovery-based learning in construction using telepresent augmented reality.* Automation in Construction, vol. 33, págs. 3-10. 2012.

BERLO, L.; HELMHOLT, K. e HOEKSTRA, W. - *C2B: Augmented Reality On The Construction Site.* In : 9th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality 2009.

BIRRELL, S. - *Construction Planning - Beyond the Critical Path.* Journal of Construction Division, vol. 106, págs. 389-407. 1980.

BROLL, W.; LINDT, I.; OHLENBURG, J.; WITTKÄMPER, M.; YUAN, C.; NOVOTNY, T.; SCHIECK, A.; MOTTRAM, C. e STROTHMANN, A. - *ARTHUR: A Collaborative Augmented Environment for Architectural Design and Urban Planning.* JVRB - Journal of Virtual Reality and Broadcasting, vol. 1 2004.

BROOKS, F. - *The Computer Scientist as Toolsmith II.* CACM, vol. 39, págs. 61-68. 1996.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M. e VOLM, J. - *The project benefits of Building Information Modelling (BIM)*. International Journal of Project Management, 2013.

CABINET OFFICE - *Government Construction Strategy*. HMSO, London, UK., 2011.

CACHADINHA, N. - *Uncertainty Robustness in Construction Scheduling*. Ph.D. dissertation. RWTH Aachen, Faculty of Civil Engineering, 2002.

CHELAKA, M.; ABEYASINGHE, L.; GREENWOOD, D. e JOHANSEN, D. - *An efficient method for scheduling construction projects with resource constraints*. International Journal of Project Management, vol. 19, págs. 29-45. 2001.

CHEN, S.; GRIFFIS, F. H.; CHEN, P. e CHANG, L. - *Simulation and analytical techniques for construction resource planning and scheduling*. Automation in Construction, vol. 21, págs. 99-113. 2012.

CHUA, D.; NGUYEN, T. Q. e YEOH, K. W. - *Automated construction sequencing and scheduling from functional requirements*. In Press, Automation in Construction, 2013.

CLEMENTE, J. e CACHADINHA, N. - *building information modeling como ferramenta de visualização de realidade aumentada em obras de reabilitação – um caso de estudo*. In : Congresso Construção 2012.

CLOUGH, R.; SEARS, G. e SEARS, S. - *Construction Contracting: A Practical Guide to Company Management*., John Wiley & Sons, Inc., 2005.

CUNHA, M.; COUTO, P. e MANSO, A. - *sistemas de informação na construção – gestão da obra*. In : 2º Forum Internacional de Gestão da Construção – GESCON 2011 2011.

DEHEREDIA, R. - *Dirección Integrada de Proyectos - DIP.*, Universidad Politécnica de Madrid. Alianza Editorial, 1985.

DIRDIM, 2013. http://www.dirdim.com/prod_laserscanners.htm (08/07/2013).

FLEMING, Q. e KOPPELMAN, J., 1998. <http://www.crosstalkonline.org/storage/issue-archives/1998/199807/199807-0-Issue.pdf> (30/07/2013).

GOEDERT, J. e MEADATI, P. - *Integrating Construction Process Documentation into Building Information Modeling*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 137, págs. 509-516. 2008.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F. e SAVARESE, S. - *D4AR – A 4-Dimensional Augmented Reality Model For Automating Construction Progress Monitoring Data Collection, Processing And Communication*. ITcon, vol. 14, págs. 129-153. 2009.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; ARBOLEDA, C. e LEE, S. - *Visualization of Construction Progress Monitoring with 4D Simulation Model Overlaid on Time-Lapsed Photographs*. Journal of Computing In Civil Engineering, págs. 391-404. 2009.

GOOGLE - *Project Glass.*, 2012. <http://www.google.com/glass/start/> (05/08/2013).

GRAZINA, J. e CACHADINHA, N. - *Towards a Systematic Production Progress Assessment Based On AR On BIM – Prerequisites And Funcional Requirements*. In : 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality 2013.

GRILO, A. e JARDIM-GONCALVES, R. - *Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments*. Automation in Construction , vol. 19, nº 5, págs. 522-530. 2010.

GU, N. e LONDON, K. - *Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry*. Automation in Construction, vol. 19, págs. 988-999. 2010.

HAKKARAINEN, M.; WOODWARD, C. e RAINIO, K. - *Software Architecture for Mobile Mixed Reality and 4D BIM Interaction*. VTT Technical Research Center of Finland 2010.

HAMMAD, A.; GARRETT, J. e KARIMI, H. - *Potencial of mobile augmented reality for infrastructure field tasks*. In : Proc. 7th International Conference on Applications of Advanced Technology in Transportation Engineering 2002.

HARTMANN, T.; GAO, J. e FISCHER, M. - *Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 134, págs. 776-785. 2008.

HOU, L. e WANG, X. - *A study on the benefits of augmented reality in retaining working memory in assembly tasks: A focus on differences in gender*. Automation in Construction , vol. 32, págs. 38-45. 2013.

HOWELL, G. e BALLARD, G. - *Lean Construction Factors Affecting Project Success in the Piping Function*. In : 3rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction 1996.

HOWELL, G. e KOSKELA, L. - *Reforming Project Management: The Role of Lean Construction*. In : 8th Annual Conference on Lean Construction, IGLC 2000.

INTERSENSE, 2013. <http://www.intersense.com/pages/11/69/> (05/08/2013).

JIAO, Y.; ZHANG, S.; LI, Y.; WANG, Y. e YANG, B. - *Towards cloud Augmented Reality for construction application by BIM and SNS integration*. Automation in Construction, vol. 33 págs. 37-47. 2012.

JOH, C.; ARENTZE, T. e TIMMERMANS, H. - *Understanding activity scheduling and rescheduling behaviour: theory and numerical illustration*. GeoJournal, vol. 53, págs. 359-371. 2001.

JONGELING, R. e OLOFSSON, T. - *A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD*. Automation in Construction, vol. 16, págs. 189-198. 2007.

KHEMLANI, L. - *Top Criteria for BIM Solutions: AECBytes Survey Results 2007*. <http://www.aecbytes.com/feature/2007/BIMSurveyReport.html> (24/04/2013).

KIM, C.; SON, H. e KIM, C. - *Automated construction progress measurement using a 4D building information model and 3D data*. Automation in Construction, vol. 31, págs. 75-82. 2013.

KIRNER, C. e TORI, R. - *Introdução à Realidade Virtual, Realidade Misturada e Hiper-realidade*. 1st Edição. São Paulo, SENAC, 2004.

KOO, B.; FISCHER, M. e KUNZ, J. - *A formal identification and re-sequencing process for developing sequencing alternatives in CPM schedules*. Automa, vol. 17, págs. 75-89. 2007.

KOO, B. e FISCHER, M. - *Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 126, págs. 251-260. 2000.

KOSKELA, L.; HOWELL, G.; BALLARD, G. e TOMMELEIN, I. - *Foundations of Lean Construction*., Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2002.

KOSKELA, L. - *Making-do, the eighth category of waste*. In : 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2004.

KOSKENVESA, A. e KOSKELA, L. - *Introducing Last Planner: Finnish Experiences*. In : CIB Conference 2003.

LAUFER, A. e TUCKER, L. - *Is construction project planning really doing its job? A critical examination of focus, role and process*. Construction Management and Economics, vol. 5, págs. 243-266. 1987.

LCI - *Lean Construction Institute*., 2013. <http://www.leanconstruction.org/> (29/05/2013).

LEHMANN, O., 2005. www.visionarytools.com/decision-making/3-point-estimating.htm (29/07/2013).

LIU, S. e SHIH, K. - *Construction rescheduling based on a manufacturing rescheduling framework*. Automation in Construction, vol. 18, págs. 715-723. 2009.

LIVEMEDIA, 2013. <http://livemedia.com.br/wp-content/uploads/2013/03/foto1.png> (05/08/2013).

LLC - *CPM Best Practices: Updates to a construction schedule*. Tech. rep. On Schedule Consultants LLC, 2010.

LOVE, P. E. D. e LI, H. - *Quantifying the causes and costs of rework in construction*. Construction Management & Economics, vol. 18, págs. 479-490. 2000.

MANTEGHI, N. e JAHROMI, S. K. - *Designing accounting information system using SSADM1 Case Study: South Fars Power Generation Management Company (S.F.P.G.M.C)*. Procedia Technology 1, págs. 308-312. 2012.

MCKINNEY, K.; KIM, J.; FISCHER, M. e HOWARD, C. - *Interactive 4D-CAD*. In : Third Congress in Computing in Civil Engineering 1996.

MILGRAM, P.; TAKEMURA, H.; UTSUMI, A. e KISHINO, F. - *Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum*. Telem manipulator and Telepresence Technologies, vol. 2351 1994.

- MILLS, A.; LOVE, P. e WILLIAMS, P. - *Defect Costs in Residential Construction*. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 135, págs. 12-16. 2009.
- MOORE, G. - *Cramming More Components onto Integrated Circuits*. Electronics Magazine, vol. 38 1965.
- MOSAIC, 2013. http://www.mosaicprojects.com.au/PDF/Schedule_Calculations.pdf (30/07/2013).
- NAVON, R. - *Automated project performance control of construction projects*. Automation in Construction, vol. 14, nº 4, págs. 467-476. 2005.
- NAVON, R. - *Research in automated measurement of project performance indicators*. Automation in Construction, vol. 16, nº 2, págs. 176-188. 2007.
- NAVON, R. e GOLDSCHMIDT, E. - *Monitoring labor inputs: automated-data-collection model and enabling technologies*. Automation in Construction, vol. 12, págs. 185-199. 2002.
- NAVON, R. e SACKS, R. - *Assessing research issues in Automated Project Performance Control (APPC)*. Automation in Construction, vol. 16, nº 4, págs. 474-484. 2007.
- NIKON, 2013. http://www.nikonmetrology.com/en_EU/Products/Large-Volume-Applications/iGPS/iGPS (25/06/2013).
- NUNES, I. - *aplicação de ferramentas lean no planeamento de obra*. Master's thesis, Instituto Superior Técnico (IST) 2010.
- O'BRIEN, J. - *CPM IN CONSTRUCTION MANAGEMENT*., McGraw-Hill, Incorporated, 1993.
- OFFICER, O. - *An Introduction to Structured Systems Analysis \& Design Methodology (SSADM)*. Office of the Government Chief Information Officer - The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2012.
- OKEIL, A. - *Hybrid Design Environments: Immersive and Non-Immersive Architectural Design*. Journal of Information Technology in Construction – Itcon, vol. 15, págs. 202-216. 2010.
- PARK, C.-S.; LEE, D.-Y.; KWON, O.-S. e WANG, X. - *A Framework for Proactive Construction Defect Management using BIM, Augmented Reality and Ontology-based Data Collection Template*. Automation in Construction, vol. 33, págs. 61-71. 2012.
- PARK, C.-S. e KIM, H. - *A framework for construction safety management and visualization system*. Automation in Construction, vol. 33, págs. 95-103, 2012.
- PAULO, J. - *Gestão Integrada do Tempo e do Custo - Uma Contribuição para a Gestão de Projectos de Construção em Portugal*. Master's thesis, Universidade Aberta 1997.
- PEÑA-MORA, F.; FARD-GOLPARVAR, M. e SAVARESE, S. - *D4AR – A 4-Dimensional Augmented Reality Model For Automating Construction Progress Monitoring Data Collection, Processing And Communication*. ITcon, vol. 14, págs. 129-153. 2009.

PILAR, F. - *A Prática da Gestão de Projectos na Gestão de Obras das Empresas de Construção*. Master's thesis, Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, 2009.

RANKOUHI, S. e WAUGH, L. M. - *Augmented Reality Technologies For AEC Projects: A Literature Review*. In : 12th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality 2012.

REIS, A. - *Organização e Gestão de Obras*., Edições Técnicas Lisboa (ETL), 2008.

ROBERTS, G.; EVANS, A.; DODSON, A.; DENBY, B.; COOPER, S. e HOLLANDS, R. - *The use of augmented reality, GPS and INS for subsurface data visualisation*. In : Internacional Congress - Integration of Techniques 2002.

RUBIO, U. - *Las Reclamaciones En Las Obras Para Las Administraciones Publicas*., Colegio De Ingenieros De Caminos, 1992.

SANTANA, G. - *La planificación y control de proyectos de construcción*., Thomson-Paraninfo, 1988.

SCHUMACHER, M. - *The use of SSADM (Structure Systems Analysis and Design Methodology) as a standar methodology on Information Systems Projects*. In : QB107 Autumn Semester Report 2001-02 2002.

SEIDENTHAL, W. - *CPM / Pert.*, McGraw-Hill, 1978.

SHEN, J.; WU, Y. e LIU, H. - *Urban planning using augmented reality*. Journal of Urban Planning and Development, vol. 127 (3), págs. 118-125. 2001.

SHIN, D. e DUNSTON, P. - *Identification of application areas for Augmented Reality in industrial construction based on technology suitability*. Automation in Construction, vol. 17, nº 7, págs. 882-894. 2008.

SUCCAR, B. - *Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders*. Automation in Construction, vol. 18, págs. 357-375. 2009.

TC - *Auditoria a empreendimentos de obras públicas por gestão directa - Conclusões e Recomendações do Tribunal de Contas*. Tech. rep. Tribunal de Contas, 2009.

TEKLA, 2010. <http://www.tekla.com/international/about-us/history/listed-company/annual-reports/Documents/Tekla-AnnualReport2010.pdf> (26/05/2013).

VTT, 2010. <http://www.youtube.com/watch?v=xpZDXih9zLg> (15/05/2013).

WALKER, M. e KELLY, J. - *Critical-Path Planning and Scheduling*. In : Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference 1959.

WANG, H. J.; ZHANG, J. P.; CHAU, K. W. e ANSON, M. - *4D dynamic management for construction planning and resource utilization*. Automation in Construction, vol. 13, págs. 575-589. 2004.

WANG, X.; LOVE, P.; KIM, M.; PARK, C.-S.; SING, C. e HOU - *A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality*. Automation in Construction, vol. 34, págs. 37-44. 2012.

WEBSTER, A.; FEINER, S.; MACINTYRE, B.; MASSIE, W. e KRUEGER, T. - *Augmented Reality in architectural construction, inspection and renovation*. In : Proc. ASCE Third Congress on Computing in Civil Engineering 1996.

WOODWARD, C. - *Augmented Reality for Building and Construction*. VTT Technical Research Center of Finland 2009.

WOODWARD, C. e HAKKARAINEN, M. - *Mobile Augmented Reality System for Construction Site Visualization*. VTT Technical Research Center of Finland 2009.

WOODWORTH, B. M. e SHANAHAN, S. - *Identifying the critical sequence in a resource-constrained project*. International Journal of Project Management, vol. 6, págs. 89-96. 1998.

YANG, J. e KAO, C. - *Critical path effect based delay analysis method for construction projects*. International Journal of Project Management, vol. 30, págs. 385-397. 2012.